

資料-1

# 第11回 小渋ダム土砂バイパストンネル モニタリング委員会 説明資料

平成27年7月撮影

令和5年3月9日

国土交通省 天竜川ダム統合管理事務所

第11回 小渋ダム土砂バイパストンネルモニタリング委員会  
説明資料  
<目次>

---

<目次>	.....	1
1. モニタリング委員会の概要	.....	2
2. 第10回土砂収支部会・第8回構造部会の報告	.....	8
2. 1 土砂収支部会・構造部会の主な議題	.....	9
2. 2 バイパス運用計画の検討	.....	10
2. 3 土砂収支計画の検討	.....	23
3. 第10回環境部会の報告	.....	30
3. 1 環境部会の主な議題	.....	31
3. 2 土砂バイパス運用休止期間中のモニタリング調査の位置づけ	.....	32
3. 3 令和4年度環境モニタリング調査結果の報告及び変化の分析	.....	34
4. 今後のモニタリング調査計画	.....	45
5. 今後の検討スケジュール	.....	49

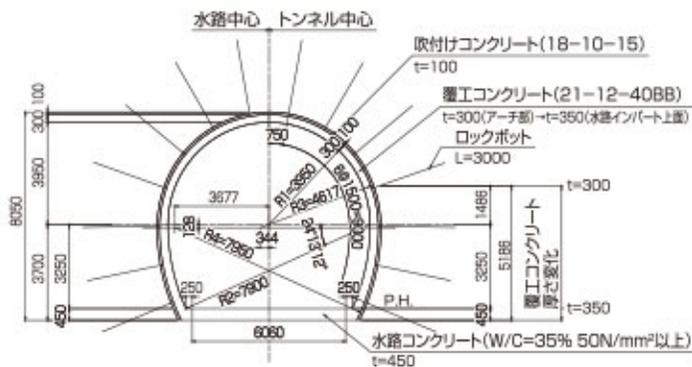
土砂バイパストンネル概要図



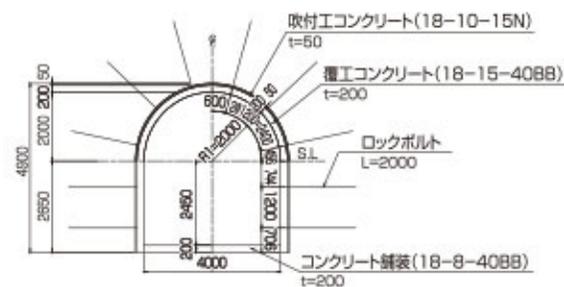
## ●トンネル概要

土砂バイパストンネル				管理用トンネル	
計画放流量	370m <sup>3</sup> /s	縦断勾配	1/50	断面形状	楕型
断面形状	一般部 馬蹄型	対象土砂	礫・砂・シルト	延長	172m
	呑口部に一部楕型	最大流速	14.4m/s	コンクリート強度	18N/mm <sup>2</sup>
延長	3,999m	コンクリート強度	覆工: 21N/mm <sup>2</sup> 水路部: 50N/mm <sup>2</sup>		

土砂バイパストンネル標準断面図(一般部)



管理用トンネル断面図



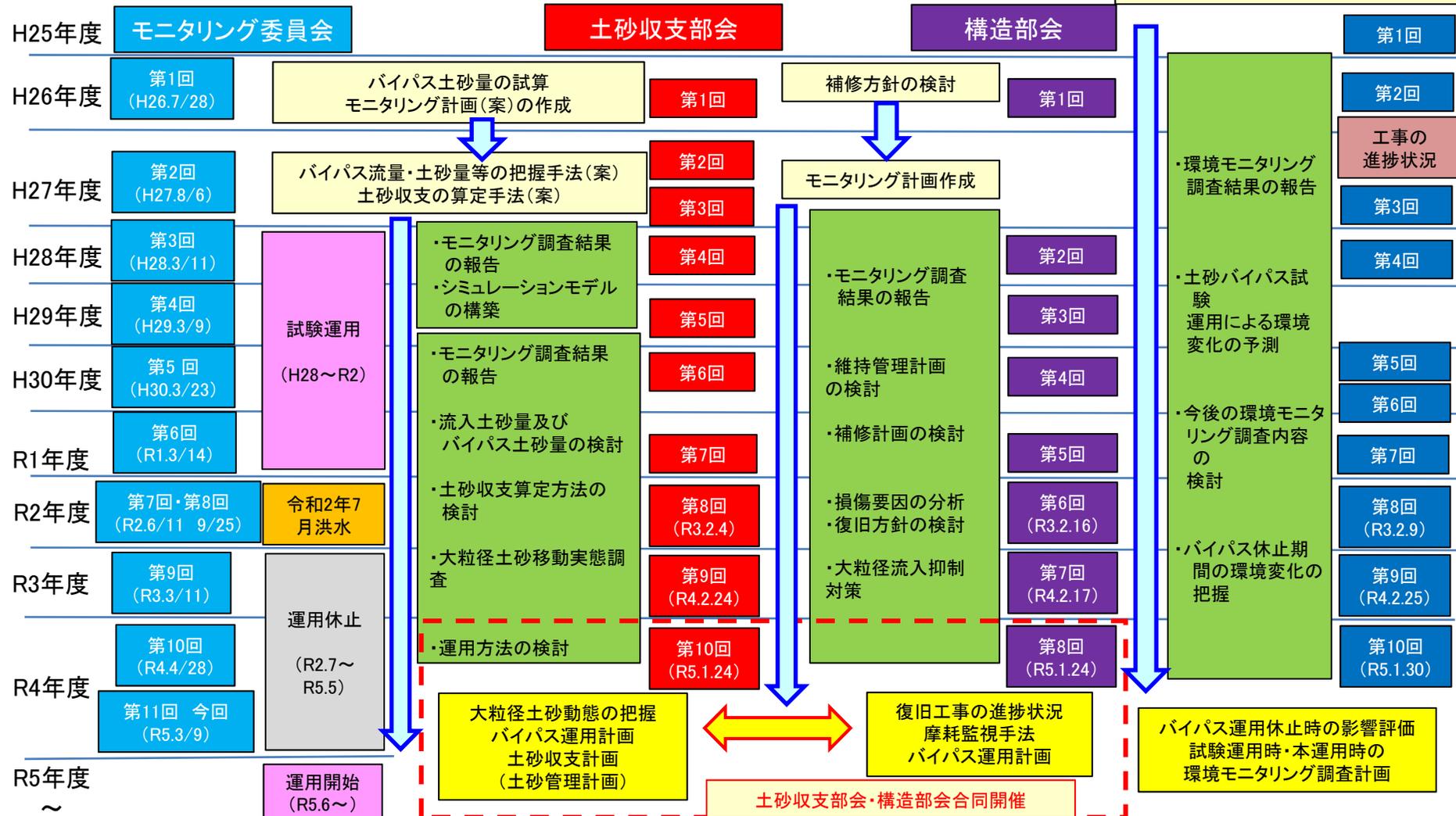
# 1. モニタリング委員会の概要

## (1) 各部会・委員会のこれまでの流れ

- 平成28年度からの試験運用を開始し、令和2年7月洪水のバイパス運用までの5年間で、合計11回運用した。
- 令和2年7月洪水での土砂バイパストンネル施設の被災を受け、第8回モニタリング委員会(R2.9.25)、第9回モニタリング委員会(R3.3.11)を開催し、バイパス施設の復旧方針について了承された。
- 令和3年度以降、バイパス施設の復旧工事に着手し、令和5年度出水期前までのバイパス運用再開に向けて、現在、復旧工事を進めている。
- バイパス運用休止期間は、現地視察会(令和3年11月、令和4年7月)を開催し、トンネル工事の進捗状況を確認していただいた。
- 令和4年度は、第10回土砂収支部会と第8回構造部会を合同開催(R5.1.24)し、第10回環境部会(R5.1.30)を開催した。

### 環境部会

- 小洪川におけるインパクトおよび環境と  
その変化
- ダム下流河川の環境把握に  
向けた調査検討計画の方針
- 土砂バイパスに関連する環境調査項目等
- 環境調査結果
- 今後実施する環境モニタリング



# 1. モニタリング委員会の概要

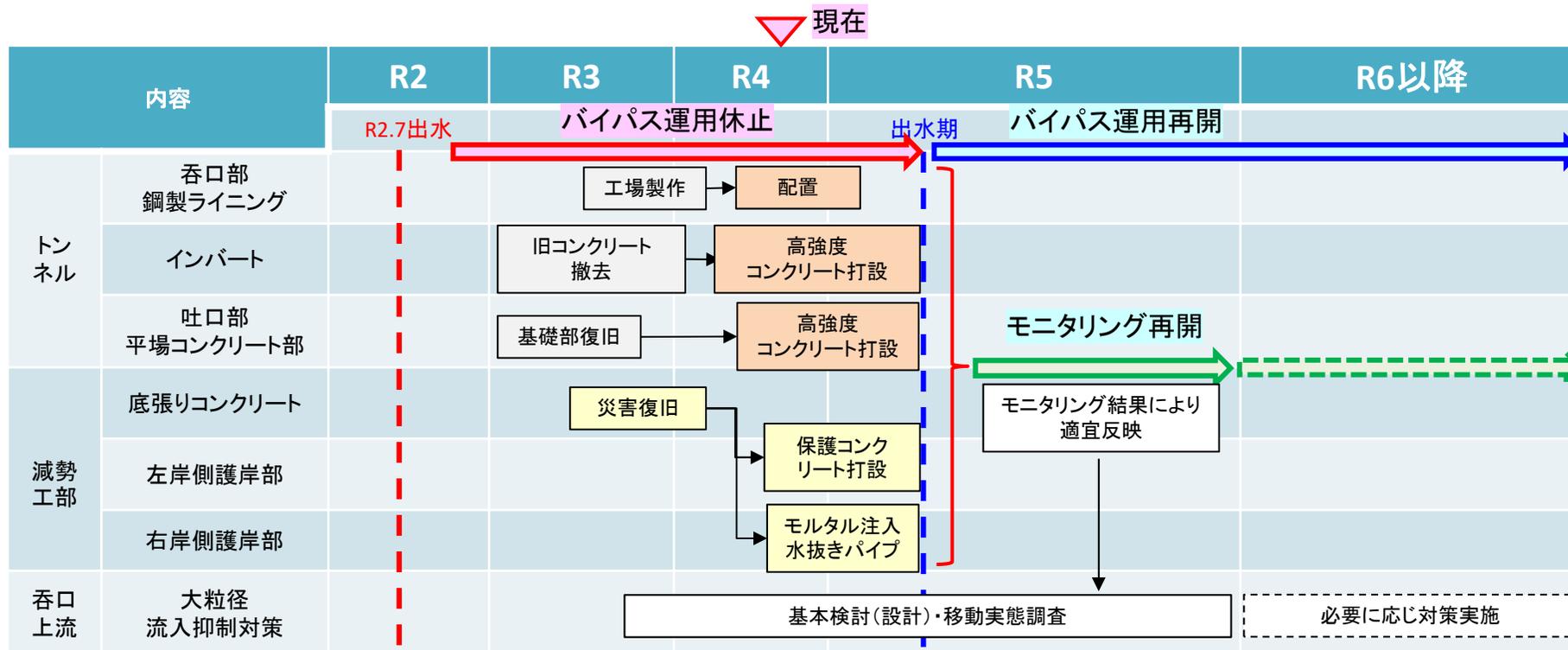
## (2) 復旧工事の進捗状況

【復旧対象】・トンネル部：呑口部（鋼製ライニング）、インバート、吐口部（平場コンクリート部・基礎部）  
 ・減勢工部（河道内）：減勢工部（底張りコンクリート部・右岸側護岸部）

【トンネル】・既設インバートコンクリートの取り壊し撤去・コンクリートの打設  
 ⇒インバートおよび基礎コンクリート：高強度コンクリート（70N/mm<sup>2</sup>）、インバート厚60mm、側面排水工の設置  
 ・呑口部（鋼製ライニング）の鋼製ライニングの撤去・設置  
 ⇒鋼製ライニングは省合金二相ステンレス鋼（t=40mm）

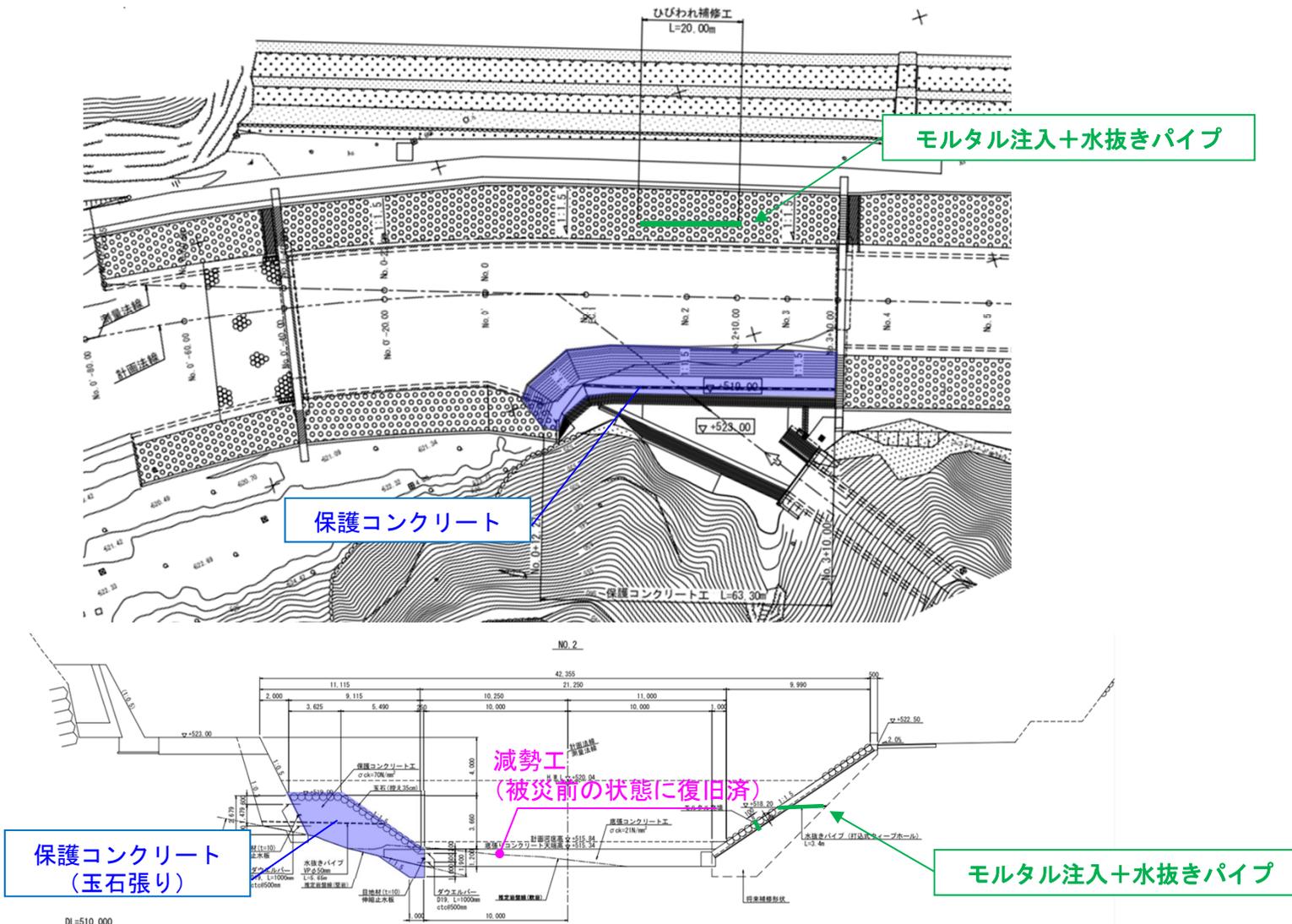
【減勢工部】・底張コンクリートの取り壊し撤去・復旧  
 ⇒ 災害復旧として、①保護コンクリート工、②ひび割れ補修（モルタル注入＋水抜きパイプ）の2つ対策を実施

【新たな対策】・呑口上流での大粒径土砂の流入を抑制する対策の基本検討（設計）、移動実態調査の実施



## (2) 復旧工事の進捗状況

- 令和5年度出水期からのバイパス運用に向けて、被災要因に対処した災害復旧対策を実施する。
- 令和4年度より実施する主な工事は、①保護コンクリート工、②ひび割れ補修(モルタル注入+水抜きパイプ)の2つ対策とする。
  - 【減勢工】：岩着部の対策として、露岩部全体の保護コンクリート(玉石張り)を施工する。
  - 【右岸護岸】:右岸護岸の亀裂箇所に対して、モルタル注入を行う予定である。



# 1. モニタリング委員会の概要

## (3) 各部会における指摘と対応

### 【第10回土砂収支部会・第8回構造部会】

今回報告

今後対応

項目	主な意見・指摘事項	対応状況
バイパス運用方法について	<ul style="list-style-type: none"> <li>・摩耗状況を監視するために洪水途中でバイパス運用を一時的に中断することは、ゲート故障等のリスクも想定される。</li> <li>・バイパスを一時的に止めた際にトンネル内に土砂が堆積するため、摩耗状況の把握が困難となる可能性がある。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・試験運用期間中の洪水中に一時中断した事例を参考に、洪水中に運用を中断してはいけない流量条件を整理し、運用方法に組み込んでいく。</li> <li>・長期間の洪水時には、途中でバイパスを中断して確認し、通常の洪水であれば1出水連続で運用する等柔軟に対応していく。</li> <li>・土砂が堆砂しないようにフラッシュ操作を実施し、土砂が堆砂していない状態で摩耗状況の把握を実施していく。</li> </ul>
	<p>ある程度、摩耗が進行しても施設への影響がないことは、実際に確認していく必要がある。</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・令和5年度からのバイパス運用再開後も、摩耗の進行状況を引き続きモニタリングしていく。</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>・現在の摩耗式では大粒径による衝撃力でインバートが損傷するような現象は考慮できないという課題がある。</li> <li>・トンネル内を流下する土砂量、水理量によって摩耗量が異なると想定される。今後、大粒径によるインバートへの影響を考慮できる摩耗式を検討していく必要がある。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・大粒径による摩耗メカニズムを考慮できる摩耗式または大規模な損傷後の損傷予測が可能な方法を検討する。</li> <li>・メカニズム解明に関しては、既往事例もなく、研究的な内容となるため、委員会を通して、関係機関と連携しながら検討していく。</li> </ul>
	<p>洪水中の摩耗状況だけでなく、毎出水後にトンネル全体の摩耗状況を把握する手法を検討する必要がある。</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・令和5年度からのバイパス運用再開後は、摩耗の進行が大きい場合は、人力による三次元測量を基本とし、摩耗の進行が小さい場合は、車両通行方式によるMMS測量を実施することを基本とする。</li> <li>・上記の時間を要する計測手法は確認が遅くなるため、簡易的なレーザ測距機器、CCTVカメラ等で把握できるようにしておく予定とする。</li> </ul>
土砂収支計画について	<ul style="list-style-type: none"> <li>・堆砂の進行に伴い、コンジットゲート付近の河床高が上昇している。</li> <li>・コンジットゲートからの放流土砂量を把握しておく必要がある。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・これまでの採水調査結果をもとに、コンジットゲートから放流される土砂の量、質を整理し、把握しておく。</li> <li>・令和5年度以降、ダム下流の管理橋に濁度計を設置し、年間の放流土砂量を評価する。</li> </ul>
	<p>分派堰の掘削など、可能な限り分派堰を越流する土砂量を減少させ、バイパス効率を高めるような運用を検討する必要がある。</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・分派堰掘削、第三貯砂堰掘削、バイパスの運用開始、停止タイミングにより、バイパスを最大限活用できる運用方法を検討していく。</li> </ul>

# 1. モニタリング委員会の概要

## (3) 各部会における指摘と対応

### 【第10回環境部会】

今回報告

今後対応

項目	主な意見・指摘事項	対応状況
土砂バイパス運用休止中のモニタリング調査の位置づけについて	<ul style="list-style-type: none"> <li>河床変動領域が変動することにより攪乱領域が増加し、攪乱領域の増加に伴い生物相が貧弱になることが想定される。安定領域と不安定(攪乱)領域のバランスを定め、将来的に環境保全上の価値観(環境容量)を決定することが重要である。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>今後、河床変動領域や陸域領域の生物相を整理し、環境容量を検討していく。</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>模式図は、概念を共有するため簡易的な図とするほうがよく、環境の潜在性を詳細に表すのは困難である。模式図に情報を追加して複雑化するのではなく、コメントを丁寧に記載する方針が良い。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>現在の模式図を基本とし、今後の評価結果を踏まえ、コメントを丁寧に補足する方針とする。</li> </ul>
令和4年度環境モニタリング調査結果の報告及び変化の分析について	<ul style="list-style-type: none"> <li>今後、河川水辺の国勢調査の調査結果を用いて、河床変動領域の変動に応じた植生群落の変化を見てほしい。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>河川水辺の国勢調査の調査結果を整理し、河床変動領域の変動による陸域の生物への影響を確認する。</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>ダム下流～天竜川合流点付近まで全体をみるのではなく、区間ごとに環境の変化を整理した結果はあるか。特に、魚道の損傷等による変化は、区別して整理すると良い。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>河床材料のまとめと同様、区間ごとの整理によってインパクトレスポンスの関係が明確になる項目については、今後区間ごとに整理する。</li> </ul>
今後のモニタリング調査計画について	<ul style="list-style-type: none"> <li>今後も調査を継続してもらいたい。付着藻類は平常時の流況に応答することもあるため、土砂供給によって影響が生じる項目とそうでない項目を切り分けて考えるとよい。また、従来は調査結果について検証してきたが、事前に変化を予測することにより、生育・生息環境への影響を把握するとよい。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>今後の試験運用再開、本運用の開始に向けて、土砂供給によって影響が生じる項目とそうでない項目を切り分けたうえでモニタリング調査計画を検討する。</li> <li>河床変動領域などについて、事前に変化を予測することにより、生育・生息環境への影響を把握する。</li> </ul>

2. 第10回土砂収支部会  
第8回構造部会  
の報告

---

### 土砂収支部会で議論した主な項目

- ①バイパス運用計画について
- ②土砂収支の実態把握と今後の土砂収支計画について
- ③モニタリング計画について

### 構造部会で議論した主な項目

- ①構造物損傷・摩耗状況把握について
- ②モニタリング計画について
- ③メンテナンス計画(補修計画)について

### ●主な議題

#### 1. バイパス運用計画の検討

- ・R2.7出水を踏まえた今後のバイパス運用方針
- ・バイパス運用停止基準(案)と補修方法
- ・摩耗状況の把握方法の検討(摩耗監視による把握・シミュレーションからの推定)
- ・バイパス運用計画(案)

#### 2. 土砂収支計画の検討

- ・試験運用期間の運用実績
- ・ダム貯水池の堆砂進行状況
- ・バイパス運用期間(H28～R2)の5年間の土砂収支(年平均値)
- ・最大限バイパス運用した場合の試算
- ・今後の土砂管理の対策方針

### (1) R2.7出水時のバイパス運用時の課題

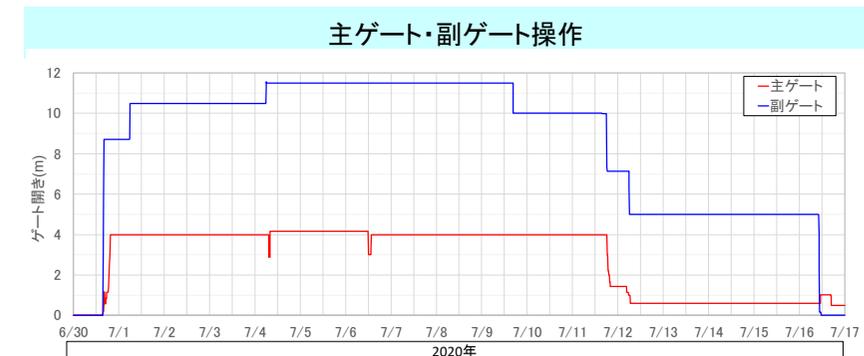
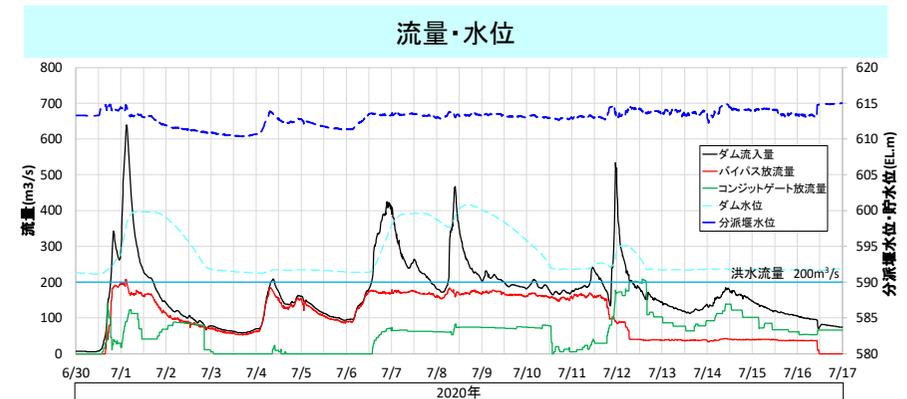
- R2年度は、第7回小渋ダム土砂バイパストンネルモニタリング委員会で提示した通り、バイパスを最大限使用することを目的に運用した。
- R2.7洪水では、長時間の土砂バイパスの運用と大規模粒径の土砂の流入により、損傷・摩耗が進行することでインバートが流失する被災が生じた。
- 今後は、施設構造の安全性の観点を踏まえ、バイパス運用を一時中断及び停止する基準を設定した運用が必要となる。

#### R2.7洪水を踏まえた運用方法の課題

項目	R2年度の操作方法(案) 第7回委員会で提示	R2.7洪水時の運用	課題
バイパス運用開始	概ね全流入量60m <sup>3</sup> /sを目安 (発電流量を確保できる流量) (ゲート全開で洪水調節開始流量を迎えるためには60m <sup>3</sup> /sまでに操作を開始する必要あり)	全流入量54m <sup>3</sup> /sから運用開始	
最大ゲート開度	全開	大部分を <b>ゲート全開</b> で運用 ①6/30 19:30～7/11 18:10 まで:ゲート全開で運用 ②7/11 18:10以降 :ゲート開度を絞って運用	
洪水調節	バイパスゲート :自然調節(ゲート全開) コンジットゲート :放流量の不足分を コンジットからの放流で調整	バイパスゲート :自然調節(ゲート全開) コンジットゲート :放流量の不足分を コンジットからの放流で調整	
バイパス運用終了	可能な限りバイパスを運用 (貯水位を回復できるタイミングで終了)	最大限バイパスを運用 (7/11以降はゲート絞る)	長時間運用により ンネル施設が損傷・摩耗

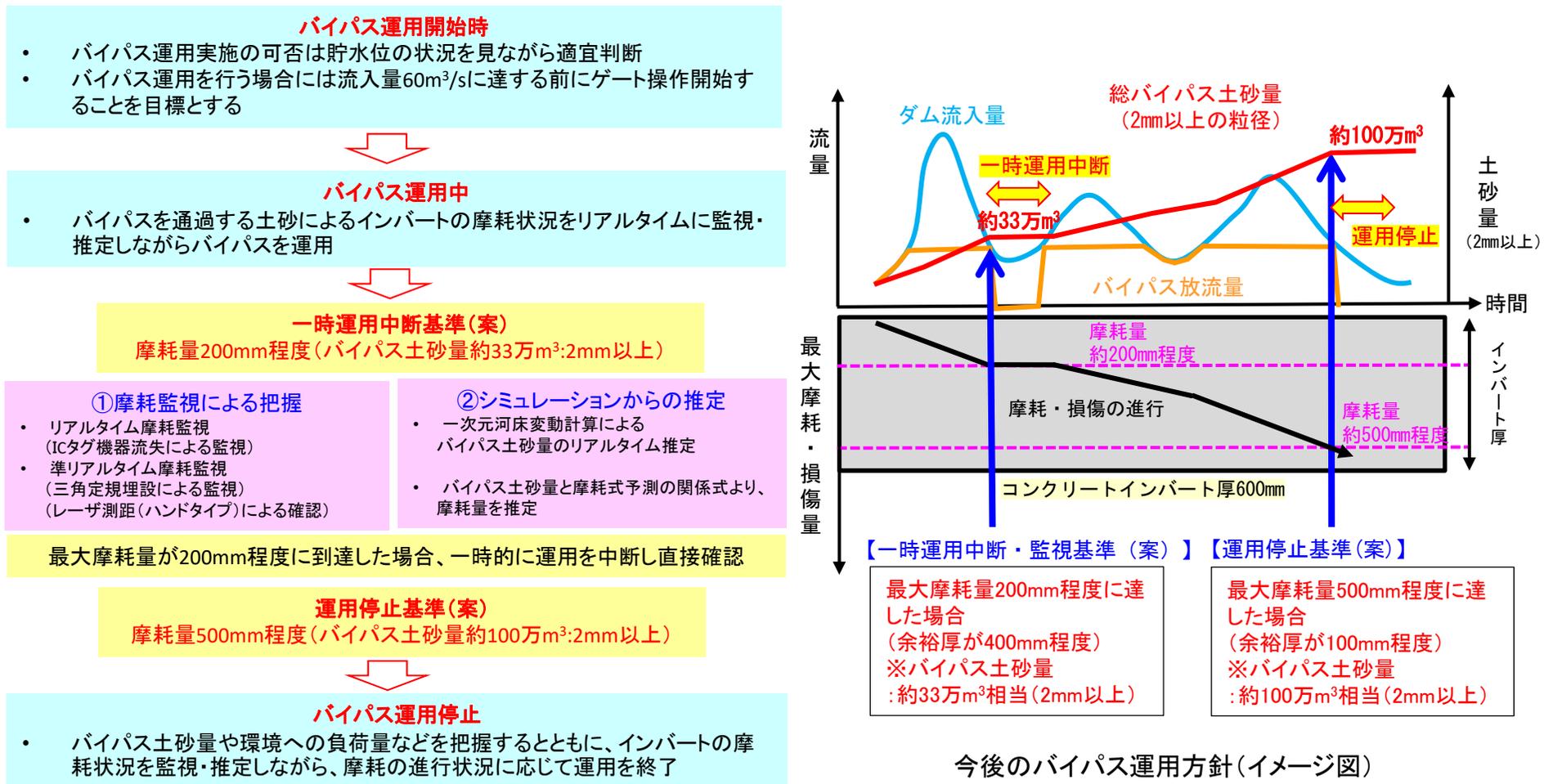
#### ■R2.7出水の土砂バイパス運用概要

- 6/30 15:40から7/16 11:30までの17日間(15日19時間50分)にわたり運用した。
- 最大流入量は約640m<sup>3</sup>/s (7/1小渋ダム管理開始以降既往第2位)、バイパス最大放流量は約202m<sup>3</sup>/s (7/1 3:00)でバイパス運用を実施した。
- 6/30から7/17における総流入土砂量は、約247.5万m<sup>3</sup> バイパス土砂量:約188.2万m<sup>3</sup>であった。
- 6/30 18時頃よりバイパスゲートをフリーフローとし、7/11までゲート全開の状態に運用した。その後、7/11 18時頃からゲートを絞り、半開操作とした。



### (2) R2.7出水を踏まえた今後のバイパス運用方針

- 施設構造の安全性を考慮したバイパス運用を実施するためには、バイパス運用中に、リアルタイムにトンネル内の摩耗・損傷状況を把握しながら運用する必要がある。
- バイパス運用中に、トンネルインバートの摩耗・損傷状況を把握するための手法として、①インバートの摩耗状況を監視する方法、②ダムコンからのダム諸量をもとにシミュレーションにより摩耗状況を推定する方法、などが考えられる。
- 一時運用を中断する場合は、ゲート閉操作時間、トンネル内の安全性の確認時間、摩耗状況の確認作業時間等を踏まえると、数時間の中断時間が必要となるため、今後の洪水波形の予測状況を踏まえ、柔軟に運用中断を判断する方針とする。
- 摩耗量を直接監視し、シミュレーションによる摩耗量の推定値が「運用停止基準(案)」に達した時点でバイパス運用を終了する。



### (3) 運用停止基準(案)の設定

#### ■ 運用停止基準(案)

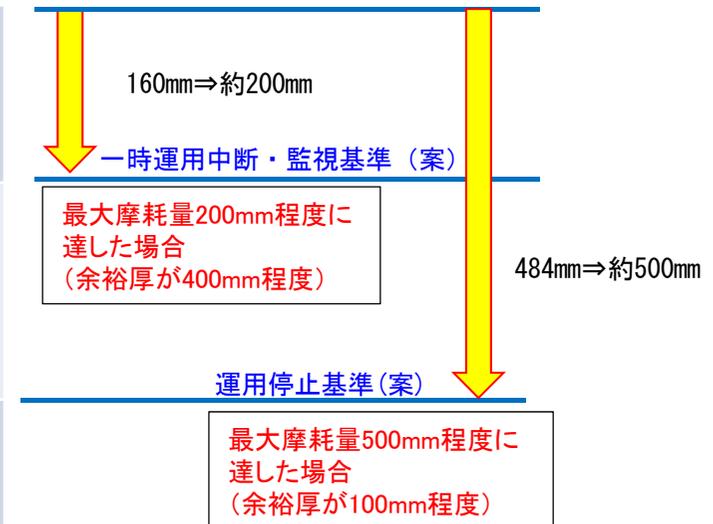
- 復旧後のインバート厚600mmとなることから、インバート摩耗状況や今後の補修計画を考慮し、**最大摩耗量が約500mm程度(余裕厚約100mm程度)に達したと想定された時点でバイパス運用を停止する運用とする。**

#### ■ 一時運用中断・監視基準(案)

- 安全側に配慮し、摩耗監視基準(案)として、**最大摩耗量が約200mm程度に達したと想定された時に、洪水状況を考慮しながら、一時的に運用を中断し、摩耗状況を確認する方針とする。**

⇒一時運用中断・監視基準(案)、運用停止基準(案)については、今後の運用実態に応じて、引き続き検討していく。

項目	R2.7出水を踏まえたインバート厚の設定		
インバート厚	① 最小補修施工	160mm	<ul style="list-style-type: none"> <li>インバート材料の品質確保、施工面からは、部分補修実施のための最小施工厚として、強度が確保できる骨材最大粒径<math>G_{max}=40\text{mm}</math>の4倍の160mm程度以上が必要(コンクリート示方書より)</li> </ul>
	② 摩耗予測量	324mm	<ul style="list-style-type: none"> <li>R2.7洪水(バイパス土砂量<math>188\text{万m}^3</math>)での実績摩耗量(上限値<math>450\text{mm}</math>)を考慮した摩耗予測式より、最大摩耗量を設定</li> <li>圧縮強度<math>f_c: 70\text{N/mm}^2</math></li> <li>ヤング係数<math>Y_m: 3.70 \times 10^4\text{N/mm}^2</math></li> <li>Kv値: 14152(最大摩耗量<math>450\text{mm}</math>より同定)</li> </ul>
	③ 余裕厚	100mm	<ul style="list-style-type: none"> <li>コンクリート強度が確保できるように、粗骨材<math>25\sim 40\text{mm}</math>より最大粗骨材寸法<math>40\text{mm}</math>程度以上とする。</li> <li>骨材粒径は強度と相関関係にあることから、大粒径土砂<math>100\text{mm}</math>以上と同程度の余裕厚を設定する。</li> </ul>
	①+②+③	583mm	⇒ 600mm



### (4) 補修方法の検討

#### ■補修方法(案)

- 補修可能な200mm程度(最小施工厚程度)に達した場合、部分補修を実施する方針とする。
- 摩耗・損傷状態に応じて、非出水期のパッチング工法による通常補修と、洪水期中の洪水と洪水の間の期間の緊急補修の2パターンを予定する。  
⇒補修方法(案)については、今後の摩耗・損傷実績に応じて、引き続き検討していく。

#### ①非水期の通常補修方法

- 非洪水期の方方法として、摩耗・損傷が進行した箇所に対し、パッチング工法を行い、部分補修を実施する。

#### ■部分補修方法(非洪水期の通常補修)

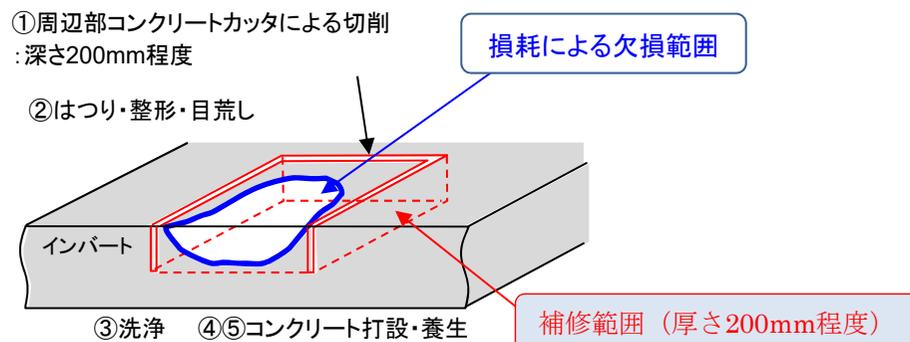
- 部分補修はパッチング工法により行う。
- 摩耗・損傷範囲を、最小施工厚200mm程度となるようコンクリートカッターとブレードにより整形し、打継面を清浄な状態に清掃した後に、補修用のコンクリート(70N/mm<sup>2</sup>)を打設する。
- 仕上がり面は、周囲のコンクリートとの間に段差等が発生しないように平滑に仕上げる。

#### ②洪水期中の緊急補修方法

- 洪水期中の洪水と洪水の間の期間に、緊急的な補修方法として、摩耗した穴に対しコンクリートを注入し応急処置を行う。

#### ■部分補修方法(洪水期の緊急補修)

- 通常コンクリートやモルタル等による穴埋めといった対応を行う。
- あくまでも正規の補修を行うまでの応急処置という位置づけとし、補修箇所は十分な耐久性を有しないことから、バイパス放流には慎重な対応を行う。



非出水期に実施する補修方法(案)

### (5) 摩耗状況の把握方法の検討: ① 摩耗監視による把握

■ インバートコンクリート摩耗監視手法

- バイパス運用中のリアルタイム計測は、実用に向けての課題を有しており、適用性については模型実験を通じて判定し、適用性が確認できた場合は、トンネルインバートでの実現性の確認を行う方針とした。

① リアルタイム計測 (ICタグ機器埋設)

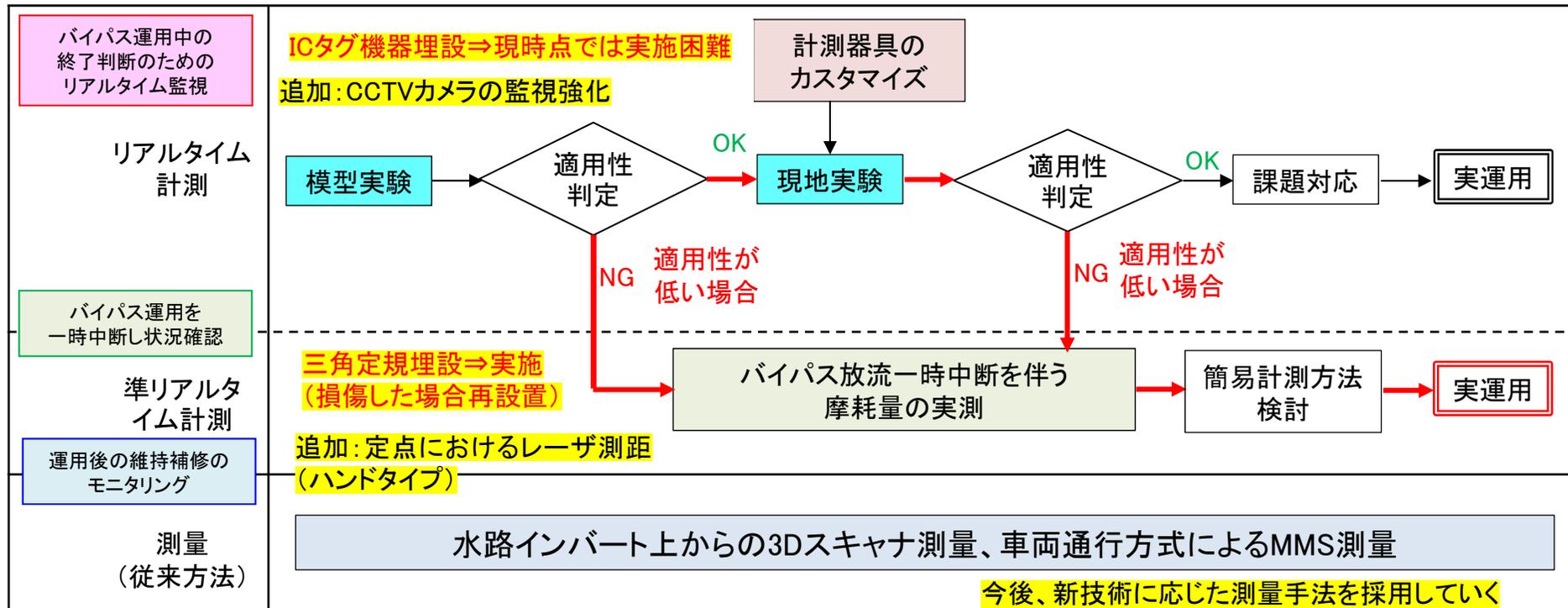
: ICタグ機器をインバート内に埋設する手法

- 模型実験より、インバートに埋設した場合の適用性が低い判断となったため、リアルタイムの摩耗監視は困難と判断した。  
(試験的に、トンネルインバート復旧工事に合わせて、1地点インバートに埋設した)

② 準リアルタイム計測 (三角定規埋設)

: バイパス土砂量に着目しながら、バイパス放流を一時的に中断し、摩耗状況を簡易的に確認する手法。

- トンネルインバート復旧工事と併せて、三角定規を3地点インバートに埋設した。



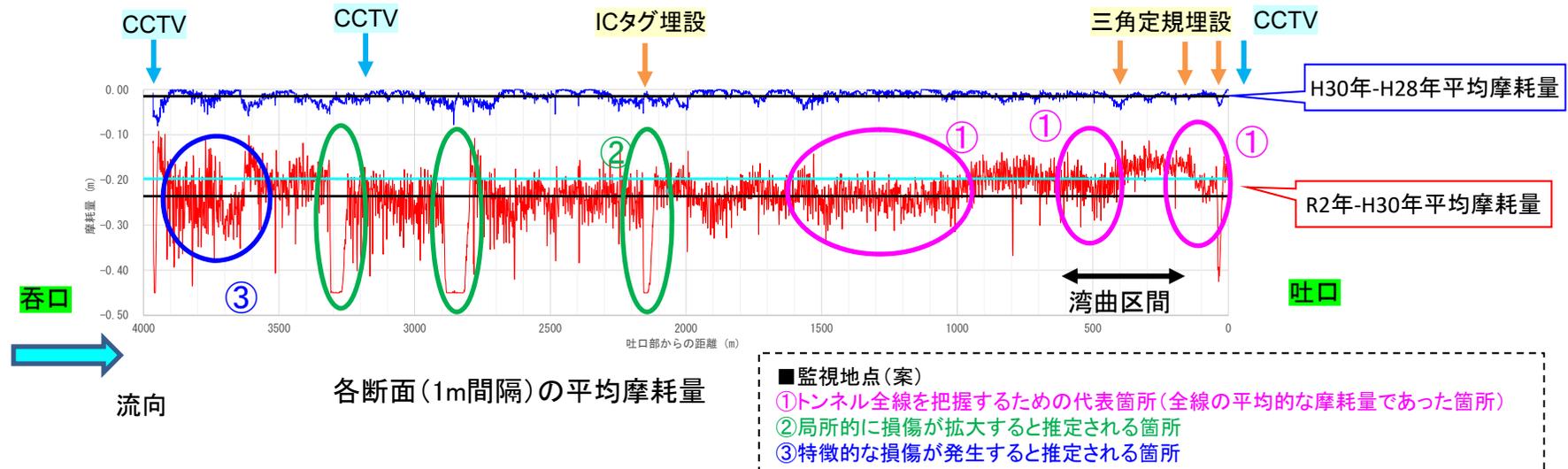
摩耗監視手法・運用停止判断手法の適用フロー

### (5) 摩耗状況の把握方法の検討: ①摩耗監視による把握

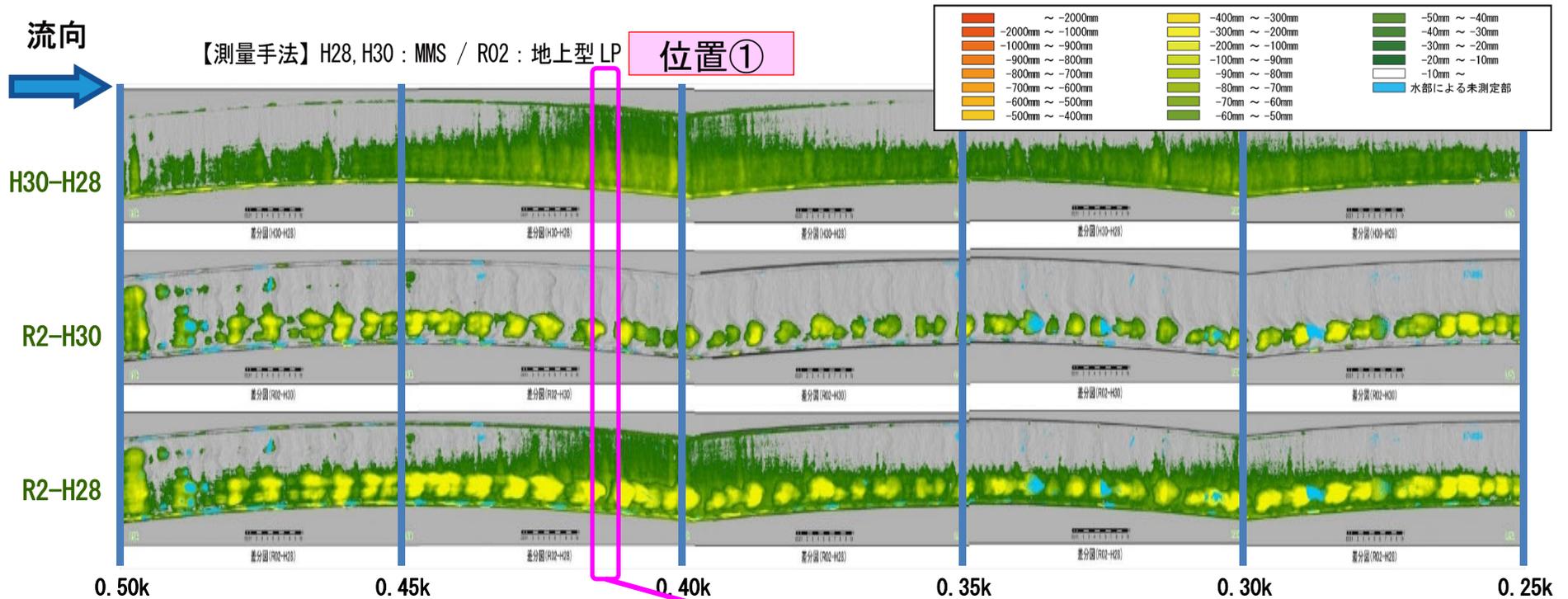
#### ■R5年度の運用再開に向けた摩耗監視手法(案)

- CCTVカメラ: 運用中に、水路インバートの変状を水理現象より確認する。流向、水面変動の変化を目視確認する。  
⇒今後、画像解析などの新技術を検討し、CCTVカメラ機器を選定予定。
- 三角定規: 摩耗・損傷が拡大されると予測される箇所に試験的に埋設。一時運用中断時に、埋設箇所にて、摩耗・損傷量を把握する。
- ICタグ機器: 摩耗・損傷が拡大されると予測される箇所に試験的に埋設。埋設したICタグの検知状況を確認する。  
(適用できれば流失による反応の有無から確認)
- 簡易レーザ測距: 一時運用中断時に、摩耗・損傷状況を把握する。
- 水路インバート上からの3Dスキャナ測量、車両通行方式によるMMS測量: 摩耗・損傷量全体把握のため、非出水期に実施する。  
⇒今後、天井レール設置によるレーザ測量手法等について検討予定。

監視目的と把握方法	摩耗・損傷の監視箇所(案)
運用後にトンネル全体の摩耗・損傷傾向を把握 (簡易レーザ測距、レーザ測量、MMS測量など)	・基本的には全線
一時運用中断時に摩耗・損傷状況を確認する地点 (ICタグ、三角定規埋設地点、簡易レーザ測距、CCTVカメラ等)	・ICタグ埋設位置 :2.16k ・三角定規埋設位置:0.42k 0.14k 0.04k



### (5) 摩耗状況の把握方法の検討: ① 摩耗監視による把握

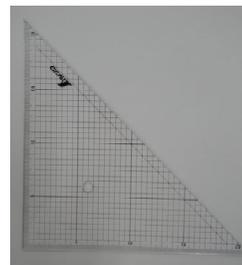


#### ■ 三角定規埋設

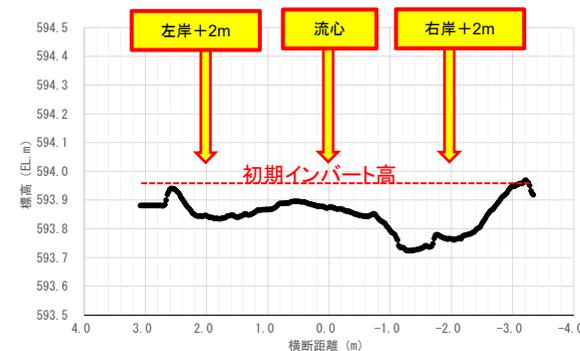
摩耗・損傷状況(吐口から500m~250m)

- 10/16時点で、復旧工事に着手していない区間(吐口から500mより下流)を対象に、摩耗・損傷状況より設置位置を選定した。
- 当該区間は、湾曲形状の影響により、右岸側の損傷が大きい傾向となる区間である。
- 埋め込み位置は、流心と損傷が大きい右岸側を網羅できるように、流心と、右岸+2m、左岸+2mの位置の横断方向3地点とした。

**位置①**  
212mmタイプ



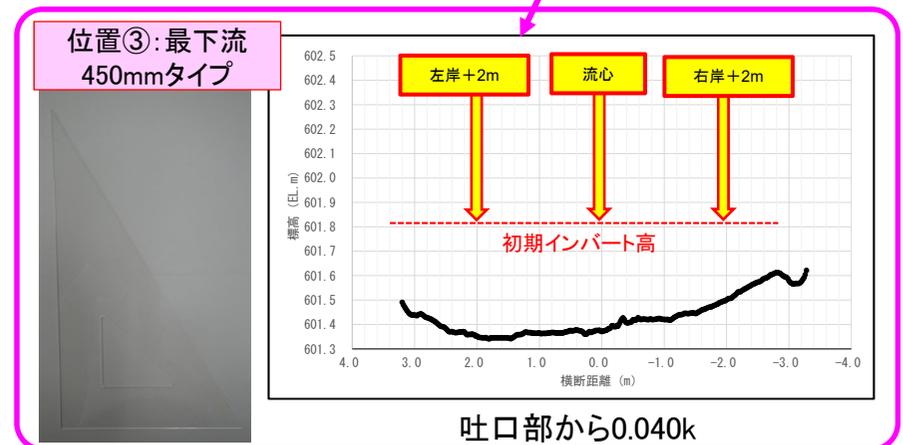
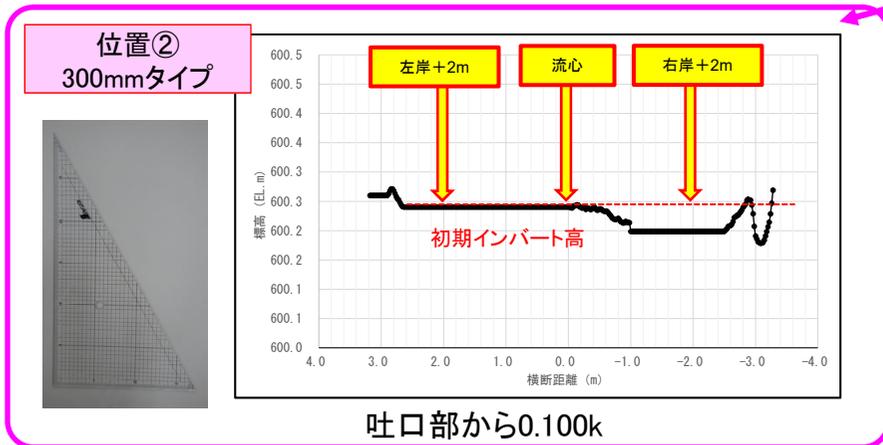
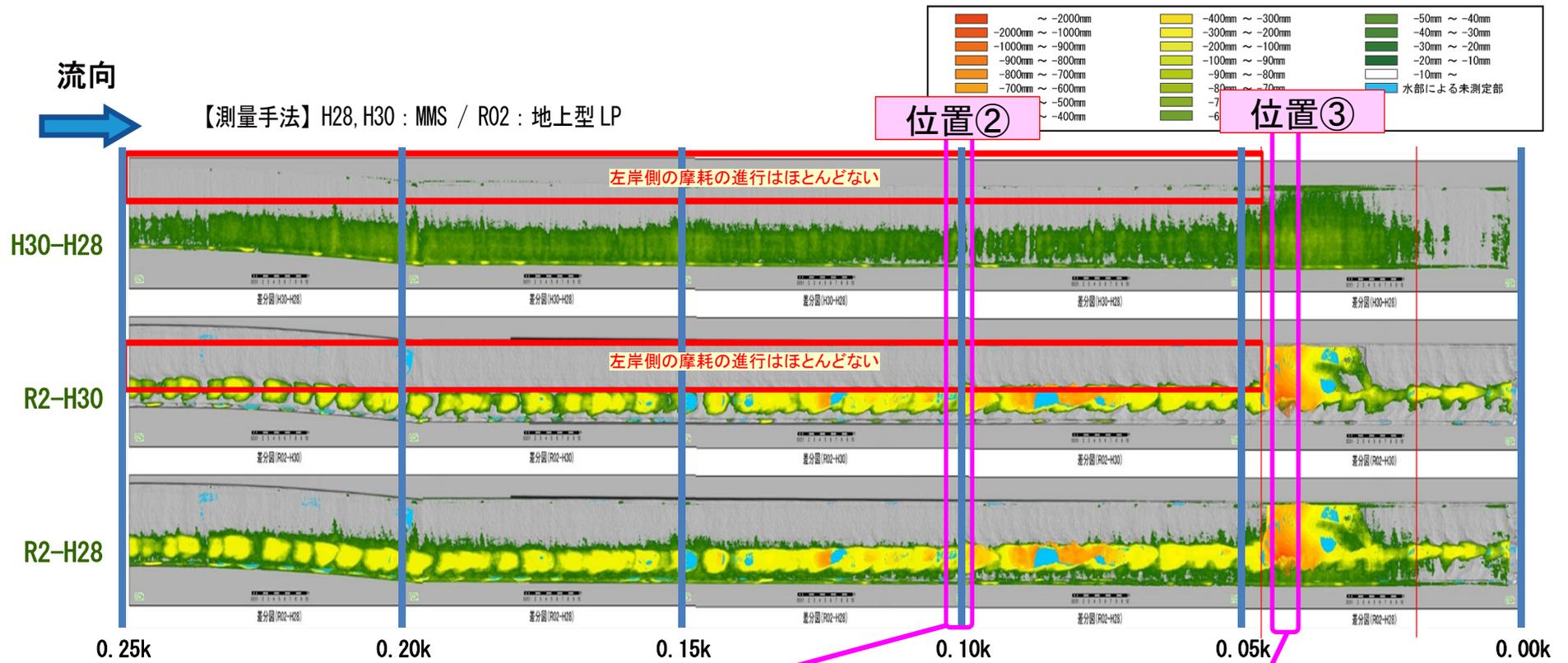
設置した三角定規



吐口部から0.420k

## 2.2 バイパス運用計画の検討

### (5) 摩耗状況の把握方法の検討: ① 摩耗監視による把握



### (5) 摩耗状況の把握方法の検討: ① 摩耗監視による把握

#### ■ ICタグ埋設

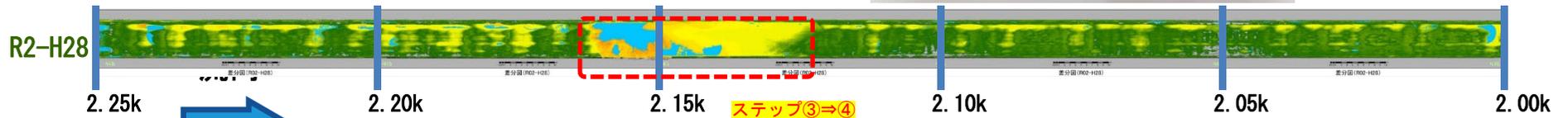
- 摩耗・損傷が著しく、インバートが流失した2.16k付近の深掘れ箇所に対し、ICタグを試験的に埋設した。



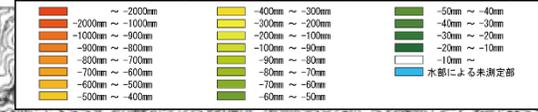
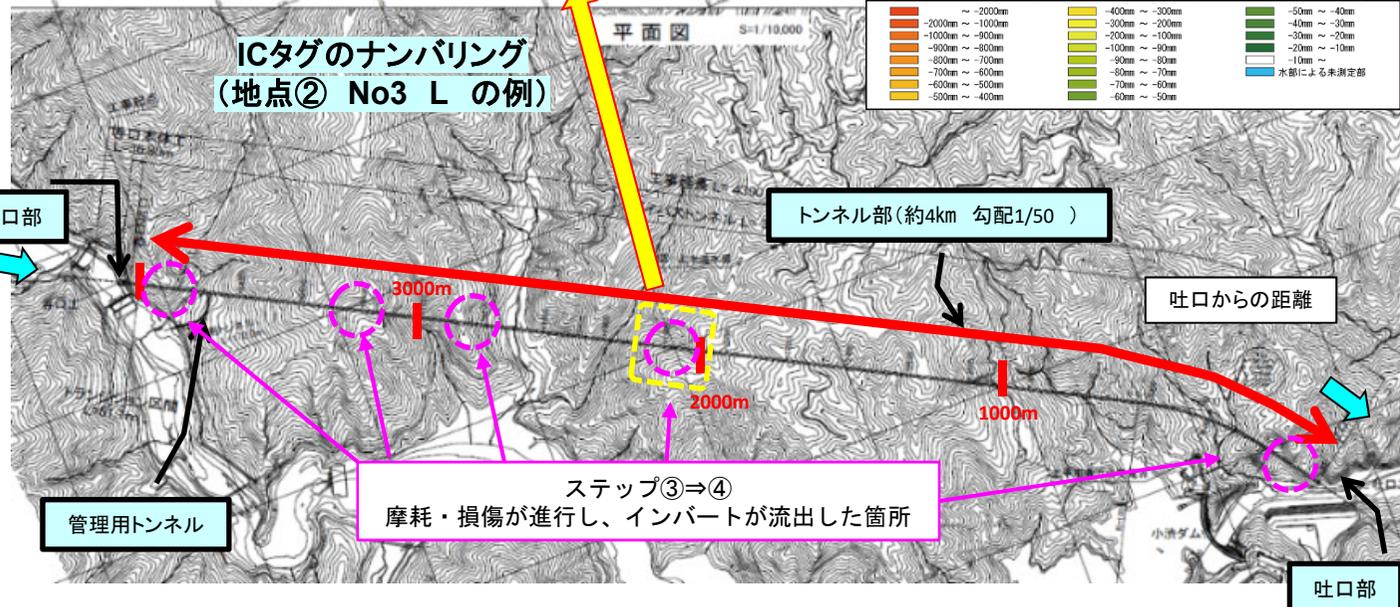
ICタグの固有番号      ナンバリング



トンネルインバートの摩耗量の経年変化(差分図)

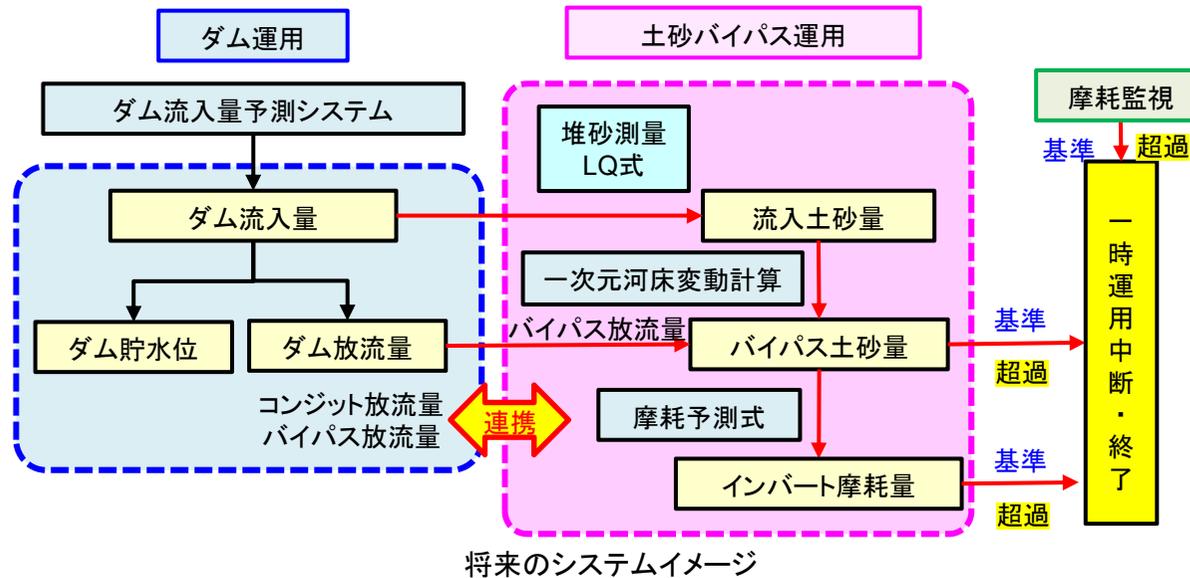


ステップ③⇒④  
摩耗・損傷が進行し、インバートが流出する形態



### (5) 摩耗状況の把握方法の検討: ②シミュレーションからの推定

- ダム流入予測システムと連携して、72hr後までのダム流入量から、LQ式から流入土砂量を、一次元河床変動計算からバイパス土砂量を予測し、リアルタイムに摩耗予測式からインバートの摩耗量を推定するシステムの検討を行った。
- システム構築までの当面の期間は、R2.7出水のバイパス土砂量と摩耗量の関係を目安に、シミュレーションで推定しながら運用していく。



ダム流入予測システム  
予測流入量の算定

- 流入予測システムによる72時間後までの予測流入量
- 実績流入量
- 実績バイパス放流量

LQ式  
予測流入土砂量の算定

一次元河床変動モデル  
予測バイパス土砂量の算定

摩耗予測式  
摩耗量の推定

シミュレーションによる摩耗量の推定手順

- S53～R2の堆砂実績より作成したLQ式を使用 (第10回モニタリング委員会で提示)  
⇒流入土砂量(粒径別)を予測

- 平面二次元河床変動モデルより把握した分派特性を設定した一次元河床変動計算モデルを使用  
⇒分派堰内の河床高を予測  
⇒河床高に応じたバイパス土砂量(粒径別)を予測

- 復旧後の高強度コンクリート強度70N/mm<sup>2</sup>の摩耗予測式を使用  
⇒バイパス土砂量(粒径別)に応じた、インバート摩耗量を推定

### (5) 摩耗状況の把握方法の検討: ②シミュレーションからの推定

#### ■R2.7出水の摩耗実績による摩耗予測式の同定(適用範囲:インバート厚450mm範囲内)

- 摩耗予測式の適用範囲は、インバート厚が確保された状態の範囲(復旧前は450mm)とし、インバートが流失した損傷メカニズムは対象外とした。
- 縦断方向1m間隔の詳細な測量結果を使用し、縦断的に流失したインバート以外の断面平均摩耗量の平均値(197mm)で同定。  
⇒実績の平均摩耗深から設定したKv値(32327)を、平均的な摩耗量を推定する摩耗予測式として活用する。
- 最大摩耗量はインバート厚(450mm)を上限として同定。  
⇒実績の最大摩耗深から設定したKv値(14152)を、危険側の最大摩耗量を推定する予測式として活用する。

- 摩耗量推定手法は、コンクリートの強度(耐摩耗性)の特性に応じて、実績の摩耗量よりパラメータを同定し、摩耗量を予測する手法である。
- インバートの材料であるコンクリートの性質、トンネル内の水理量および流砂量により、インバートの摩耗量を推定する。

コンクリートの強度

$$A_r = \frac{Y_M}{k_v f_{tsp}^2} W_{im}^2 I q_s$$

抵抗係数  $k_v$  (実績摩耗量から設定)

流砂量  $q_s$  (掃流砂粒径2mm以上を使用)

水理量(摩擦速度等)を等流計算より算出

#### ■コンクリートの材質から決まる定数

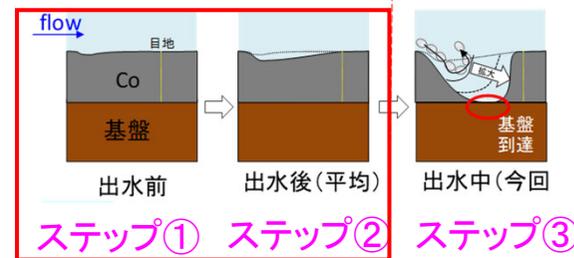
$Y_M$ : ヤング係数(Pa)  
 $k_v$ : 摩耗抵抗係数(-)  
 $f_{tsp}$ : コンクリート引張り強度(Pa)

#### ■水理量(R2.7出水)

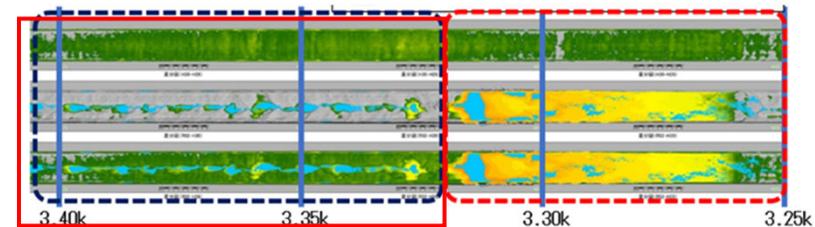
$W_{im}$ : 平均鉛直粒子衝突速度(m/s)  
 $I$ : 単位長さ当たりの衝突粒子数(1/m)

#### ■バイパス土砂量(R2.7出水)

$q_s$ : 流砂量(kg/(sm))



適用範囲はステップ①、②のみとした。  
 ※インバートが流失したメカニズム(ステップ③)には適用できないと判断



①インバート厚が確保された状態での摩耗・損傷形態

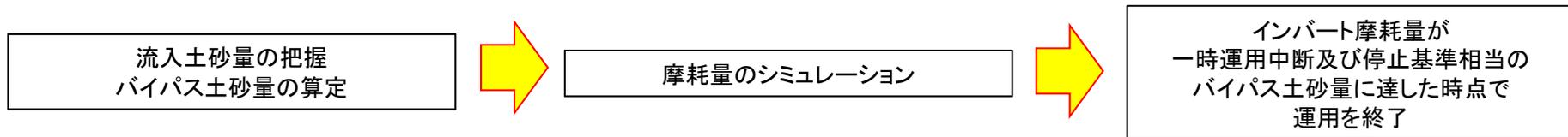
②摩耗・損傷が進行し、インバートが流出する形態

摩耗式の同定		R2.7出水後で同定	備考
実績摩耗量		R2.7出水後の摩耗量	1m間隔の詳細測量結果
適用範囲		インバート厚(450mm以内)	被災メカニズムが異なるため流失したインバートは除く
バイパス土砂量		R2.7出水時の粒径2mm以上の粒径を対象(掃流砂・浮遊砂)	累積値を用いる
引張り強度 $f_{tsp}$ ヤング係数 $Y_M$		R2.7出水時のインバート強度(50 N/mm <sup>2</sup> )で同定 (コンクリート強度: 50N/mm <sup>2</sup> 、ヤング係数: 23.30×10 <sup>4</sup> N/mm <sup>2</sup> )	復旧後のインバート(70 N/mm <sup>2</sup> )に適用 (コンクリート強度: 70N/mm <sup>2</sup> 、ヤング係数: 23.70×10 <sup>4</sup> N/mm <sup>2</sup> )
Kv値	平均摩耗量	32327(平均摩耗量197mmで設定)	平均的な摩耗予測式として活用
	最大摩耗量	14152(最大摩耗量450mmを上限)	危険側の摩耗予測式として活用

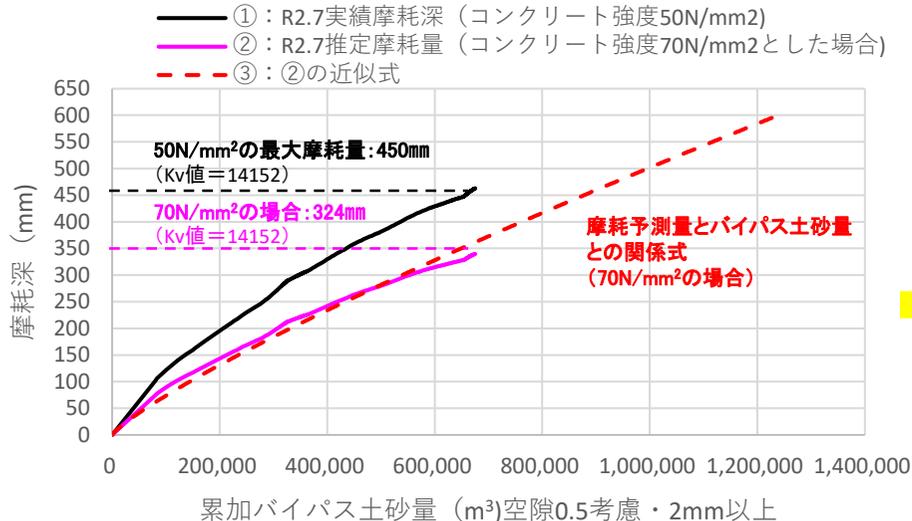
### (5) 摩耗状況の把握方法の検討: ②シミュレーションからの推定

#### ■システム構築までの当面の運用方法

- システム構築までの当面の運用は、流入量予測システムの予測流入量とダム諸量の実績データ(流入量・放流量)を活用し、バイパス呑口部を含む分派堰上流の一次元河床変動計算を実施し、バイパス土砂量を算定することで、摩耗量を推定する。
- バイパス土砂量とインバート摩耗量との関係については、R2.7洪水による累加バイパス土砂量と摩耗量の関係式を参考に、バイパス運用の一時運用中断や運用停止を判断する。
- 摩耗予測式については、摩耗・損傷メカニズムをもとに、バイパス運用再開後も引き続き、検証・見直しを行う。



R2.7洪水時の摩耗深



R2.7洪水時の実績摩耗量をもとに試算した  
総バイパス土砂量(累加)と摩耗量との関係  
(復旧後70N/mm<sup>2</sup>インバート)

摩耗量 [mm]	バイパス土砂量 [m <sup>3</sup> ] 2mm以上バイパス土砂量 空隙0.5考慮
【一時運用中断・監視基準(案)】 100	140,000
200	330,000
300	540,000
【運用停止基準(案)】 400	760,000
500	1,000,000
600	1,240,000

※R2.7洪水時の最大摩耗量(インバート厚450mmを上限): 450mm

※Auelの摩耗予測式を用いてR2.7洪水時の実績摩耗量を再現

総バイパス土砂量(累加)と摩耗量との関係  
(R2.7洪水)

### (6) バイパス運用計画(案)の作成

・土砂収支、構造、環境の観点をもとに小渋ダムのバイパス運用方法を設定した。

**土砂収支の視点: できる限り多くの土砂をバイパス(堆砂抑制の観点)**

⇒運用要領(案)の範囲内でできる限り長くバイパスを運用できるような開始・終了時点の設定

**構造の視点: トンネル内の摩耗進行に対する安全性の確保(安全性の観点)**

⇒摩耗・損傷の観点からのバイパス土砂量の上限值(バイパス開始前のインバート厚に応じて上限あり)

**環境の視点: 下流への排砂による影響(生物の生息・生育場の観点)**

⇒環境への負荷の観点からのバイパス土砂量の上限值(河床変動領域の拡大・陸上領域の縮小に伴う影響など今後検討予定)

#### 小渋ダム土砂バイパストンネルの運用方法(案)

項目	バイパス運用(案)	備考
バイパス開始	概ね全流入量60m <sup>3</sup> /sを目安	小渋ダムからの放流(コンジット・バイパス)を実施するか判断は、現在の運用要領(案)に則り、貯水位に応じて決定する。(全流入量60m <sup>3</sup> /sあくまでも目安であり、貯水位が低い場合にはバイパスを運用せずに流水の貯留を優先する場合も想定される)
最大ゲート開度	全開	小渋ダムのバイパスゲートは全開運用を基本に設計されており、ゲート全開において自然調節での洪水調節が可能となるように設計されている
洪水調節	バイパスゲート: 自然調節(ゲート全開) コンジットゲート: 放流量の不足分をコンジットからの放流で調整	バイパスは洪水調節機能を有するため、バイパス運用中断の際には、コンジットゲートからの放流と連携して洪水調節を行う
バイパス運用終了	<p><b>【一時運用中断・監視基準(案)】</b> 安全側に配慮し、最大摩耗量が約200mm程度に達した時に一時的に運用を中断し、摩耗状況を確認する ⇒バイパス土砂量の目安: 約33万m<sup>3</sup>相当(2mm以上)</p> <p><b>【運用停止基準(案)】</b> 最大摩耗量が約500mm程度(余裕厚約100mm程度)に達した時点でバイパス運用を停止する ⇒バイパス土砂量の目安: 約100万m<sup>3</sup>相当(2mm以上)</p>	インバート摩耗状況、今後の補修計画を考慮した運用を実施する。 ただし、一時運用を中断する場合は、ゲート閉操作時間、トンネル内の安全性の確認時間、摩耗状況の確認作業時間等を踏まえると、数時間の中断時間が必要となるため、今後の洪水波形の予測状況を踏まえ、柔軟に運用中断を判断する方針とする。

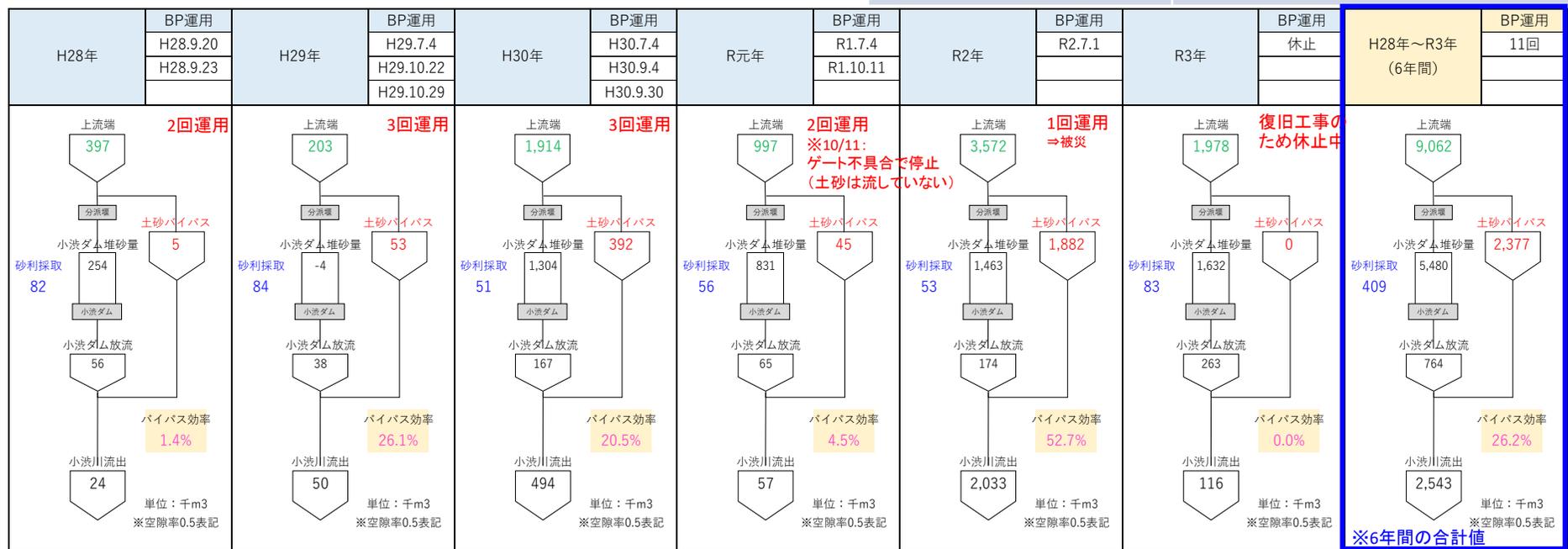
## 2.3 土砂収支計画の検討

### (1) 試験運用期間(H28~R3)の6年間の運用実績(土砂収支)

- シミュレーションモデルを用いて算出したバイパス土砂量や堆砂測量結果をもとに、これまでの年間土砂収支を整理した。
- H28年~R3年の6年で土砂バイパストンネルを11回運用し、6年間の流入土砂量約906.2万m<sup>3</sup>に対して、土砂バイパスにより、約237.7万m<sup>3</sup>の土砂量を下流に排砂した。
- R2年では、流入土砂量約357.2万m<sup>3</sup>に対して、バイパス土砂量約188.2万m<sup>3</sup>であり、バイパス効率(年間流入土砂量に対してバイパスにより排砂した土砂量の比率)は52.7%であり、年間の流入土砂量のうち半分以上の土砂をバイパスにより排砂した。

年間の土砂収支算定方法

項目	算定方法
①上流端流入土砂量	②~④+砂利採取量
②バイパス土砂量	平面二次元河床変動計算
③小渋ダム堆砂量	堆砂測量結果
④小渋ダム放流土砂量	コンジット放流土砂のQ-Qs関係式
⑤小渋川流出土砂量	一次元河床変動計算



項目	H28		H29			H30		R1		R2	R3	合計	
	9/20	9/23	7/4	10/22	10/29	7/4	9/4	9/30	7/4	10/11	6/30		
バイパス運用回数(回)	2		3			3		2		1	0	11	
バイパス運用時間(hr)	16	6	3	10	49	11	44	70	10	—	380	0	614
ピーク流量(m <sup>3</sup> /s)※毎正時	80	36	79	197	66	352	469	379	199	249	597	475	-
総BP流量/総流入量	5%	20%	23%	16%	86%	5%	20%	49%	25%	5%	59%	-	-
年間流入土砂量(千m <sup>3</sup> )	397		203			1,914		997		3,572	1,978	9,062	
BP土砂量(千m <sup>3</sup> )	5		53			392		45		1,882	0	2,377	
BP土砂量/年間流入土砂量	1.4%		26.1%			20.5%		4.5%		52.7%	0%	26.2%	

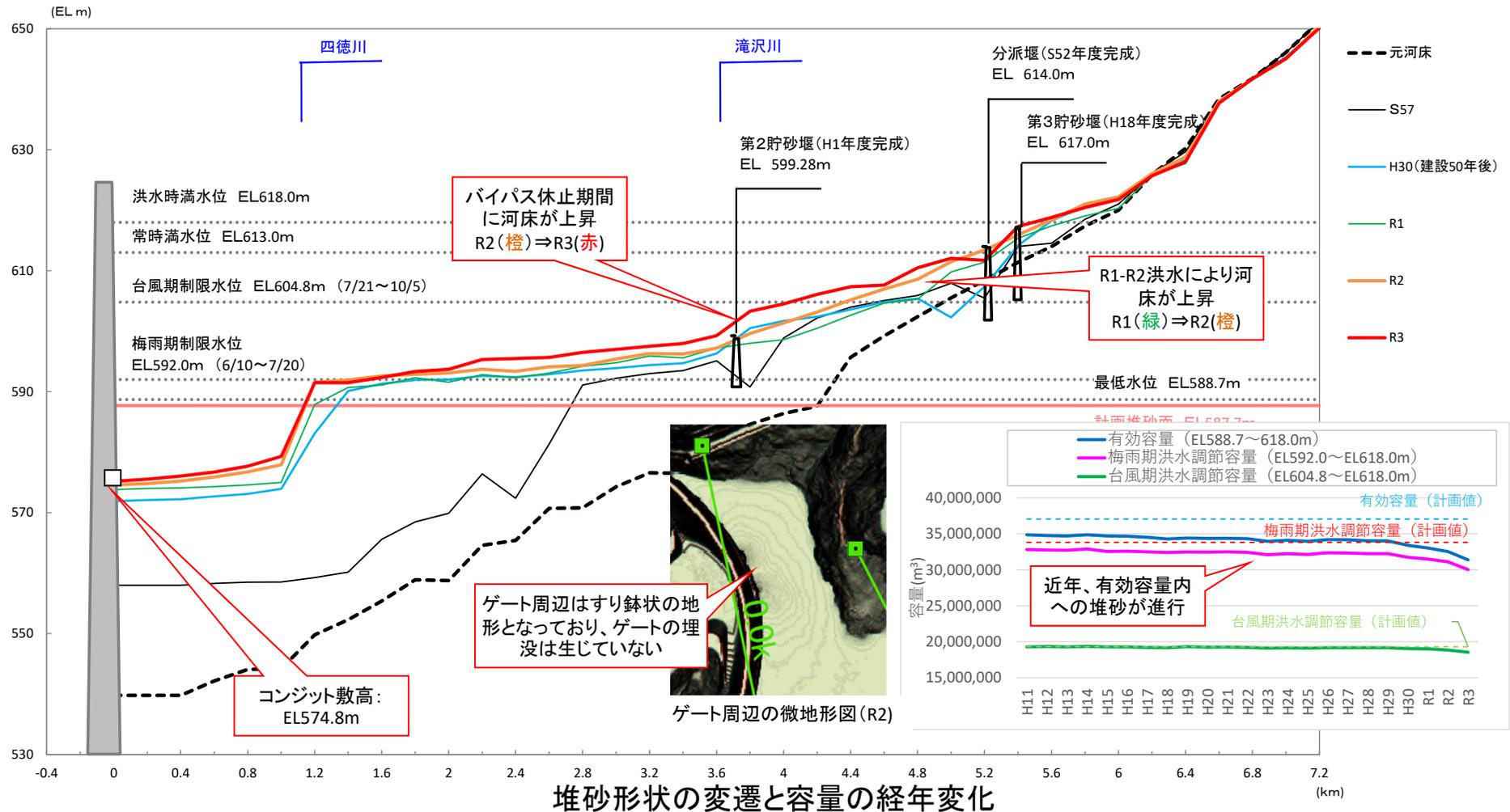
※バイパス効率: 年間の流入土砂量に対するバイパスによる排砂土砂量の比率

※6年間の合計値

### (2) ダム貯水池の堆砂進行状況

#### ■ R3年度までの貯水池堆砂量

- 小渋ダムの堆砂状況は、R2.7出水以降バイパス運用を一時休止しており、近年急激に堆砂が進行している。
- コンジットゲート前面は、平均河床高で見ると、コンジット敷高以上の高さまで堆砂が進行しており、有効容量内への堆積も生じている。ただし、ゲート周辺は、すり鉢状の地形となっておりゲートの埋没は生じていない。
- 土砂バイパスの運用に加え、維持掘削等、貯水池内も含めた総合的な堆砂対策が必要である。



## 2.3 土砂収支計画の検討

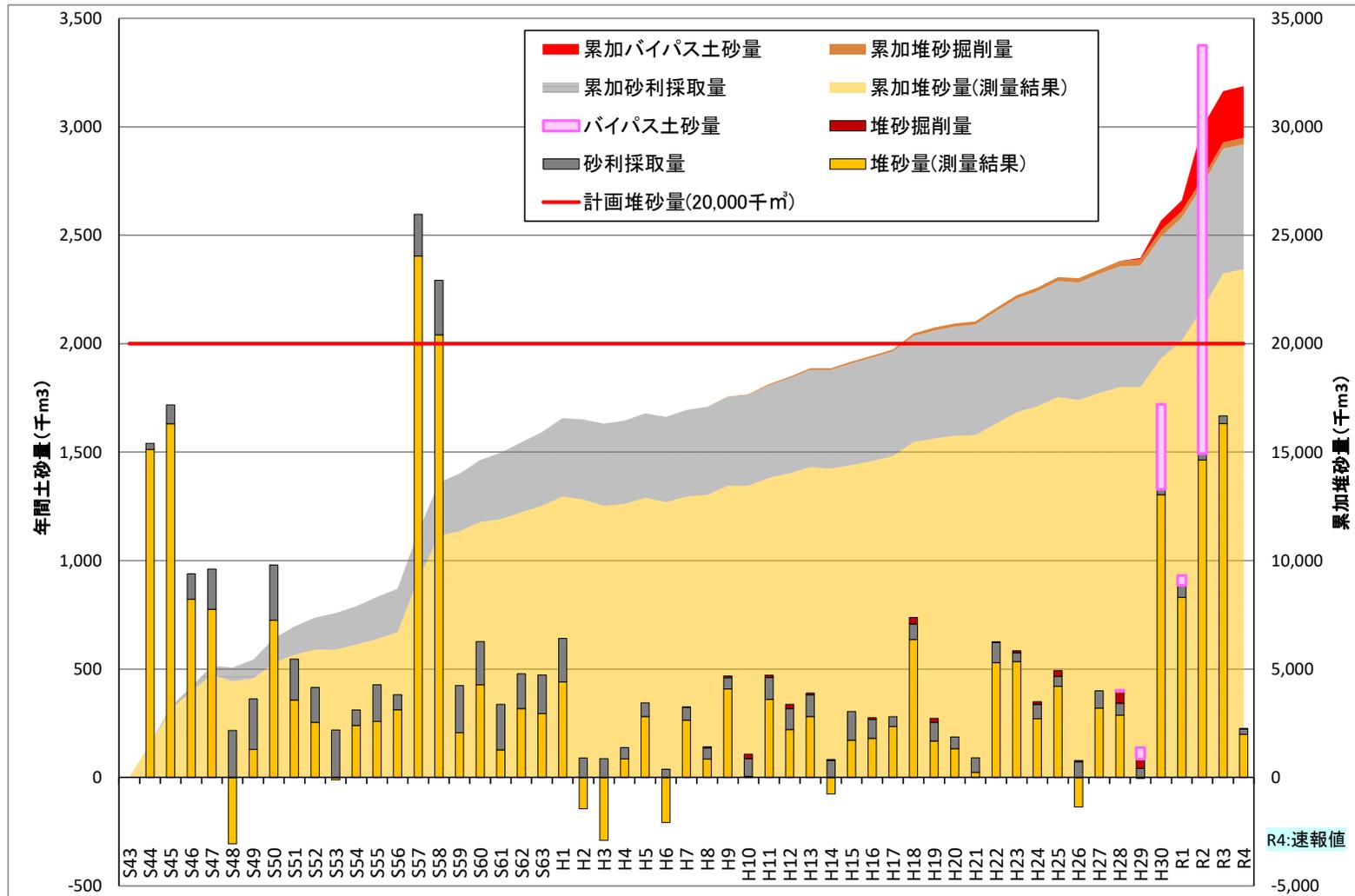
### (2) ダム貯水池の堆砂進行状況

#### ■ R3年度までの貯水池堆砂量

- 平成30年以降、年間堆砂土砂量は約100万m<sup>3</sup>程度であり、直近4年間で、急激に堆砂が進じた。
- R2年度のバイパス運用により、流入土砂量に対し約52.7%の土砂を排砂できたが、約150万m<sup>3</sup>程度の堆砂となった。さらに、R3年度はバイパス休止中のため、約160万m<sup>3</sup>程度の堆砂となった。
- 近年、有効容量内堆砂率も進行しており、約14.4%である。
- R4年度は、約20万m<sup>3</sup>程度(速報値)の堆砂量であった。

#### ■ R3年度までの堆砂状況

【全堆砂量】	23,014千m <sup>3</sup>
【有効容量内堆砂量】	5,722千m <sup>3</sup>
【堆砂容量内堆砂量】	17,292千m <sup>3</sup>
【経過年数】	53年
【全堆砂率(総貯水容量に対する)】	38.7%
【堆砂率(堆砂容量に対する)】	114.07%
【有効容量内堆砂率】	14.4%



## 2.3 土砂収支計画の検討

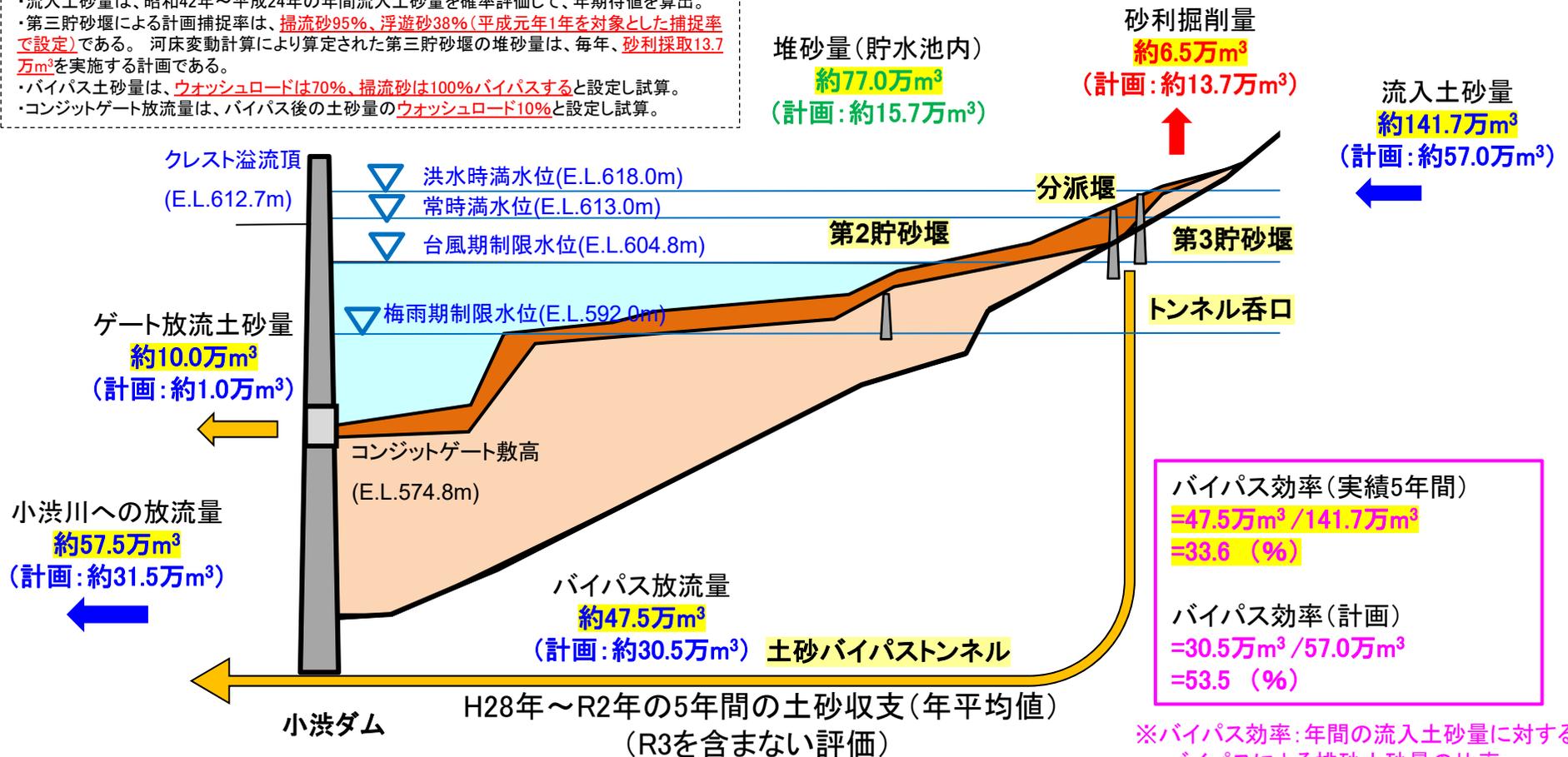
### (3) バイパス運用期間(H28~R2)の5年間の土砂収支(年平均値):計画との比較

■計画土砂収支

- 小渋ダムの計画土砂収支は、S44~H6の流況をもとに年平均期待値により設定されている。
- H28年~R2年の5年間の土砂収支(R3を含まない評価)
  - 流入土砂量について、計画の約57.0万m<sup>3</sup>(年期期待値)に対して、土砂バイパスを運用したH28~R2までの5年間の年平均(運用を休止したR3を含まない)は、約141.7万m<sup>3</sup>であり、約2.5倍程度の土砂が流入した。
  - バイパス土砂量については、計画の約30.5万m<sup>3</sup>(年期期待値)に対して、5年間の年平均は約47.5万m<sup>3</sup>であり、年毎にバイパス運用回数の違いでばらつきがあるが、計画時に想定した土砂量以上をバイパスより排砂している。
  - ダム貯水池の堆砂量は、計画の約15.7万m<sup>3</sup>(年期期待値)に対して、5年間の年平均は約77.0万m<sup>3</sup>となり、貯水池の堆砂は大幅に進行した。

○計画土砂収支の概要(土砂バイパストンネル設計当時)

- 流入土砂量は、昭和42年~平成24年の年間流入土砂量を確率評価して、年期期待値を算出。
- 第三貯砂堰による計画捕捉率は、掃流砂95%、浮遊砂38%(平成元年1年を対象とした捕捉率で設定)である。河床変動計算により算定された第三貯砂堰の堆砂量は、毎年、砂利採取13.7万m<sup>3</sup>を実施する計画である。
- バイパス土砂量は、ウオッシュロードは70%、掃流砂は100%バイパスすると設定し試算。
- コンジットゲート放流量は、バイパス後の土砂量のウオッシュロード10%と設定し試算。

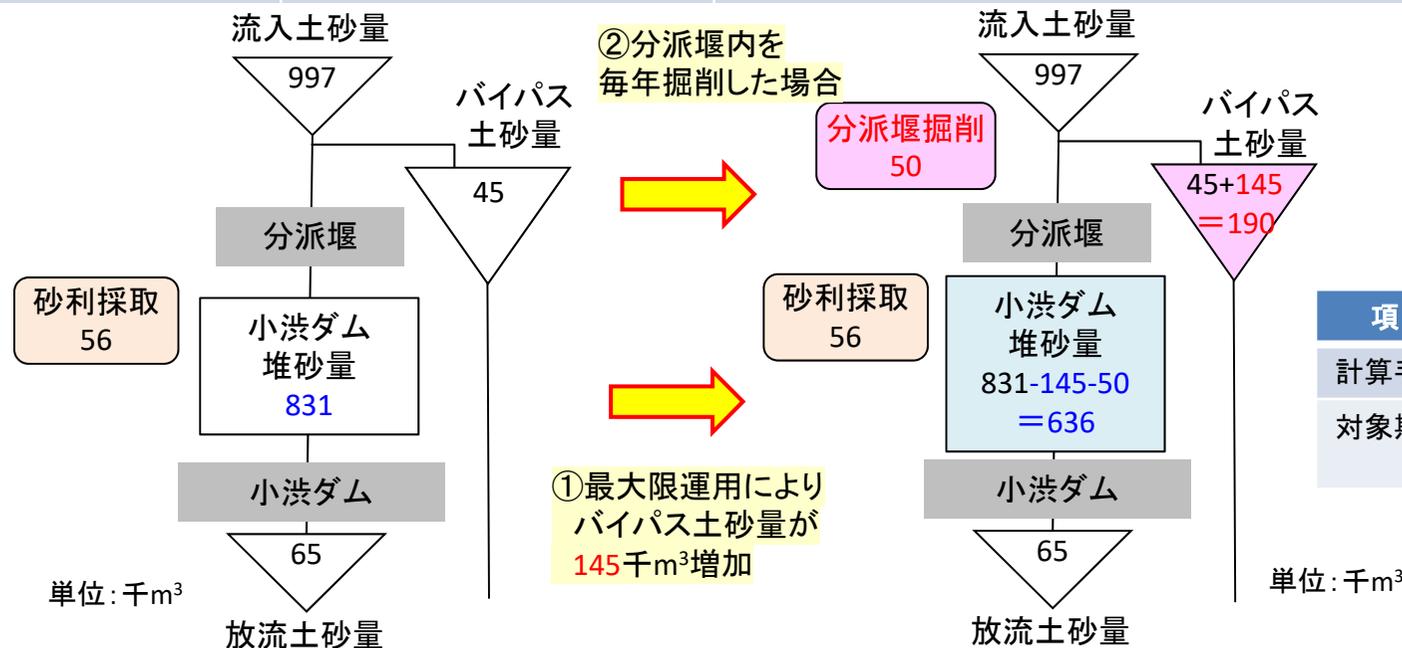


### (4) 休止中を含めた6年間(H28~R3)に対する最大限運用した場合の試算

- バイパス土砂量は、バイパスを運用した出水を対象に、一次元河床変動計算により算定した計算値である。一方、ダム堆砂量は、貯水池の測量成果より算出した堆積土砂量(実績値)より算出しており、計算値と実績値を組み合わせて、年間の土砂収支を整理している。
- これまで6年間の実運用は、バイパス運用を途中で中断したり、R3年度は休止中など、バイパスを最大限運用できていない。
- ここでは、分派堰を毎年維持掘削(E.L.608m)するとともに、流入量が60m<sup>3</sup>/s以上の出水に対してバイパスを最大限運用した場合の貯水池への流入土砂の抑制効果を把握するため、以下の手法で土砂収支を試算した。

バイパス土砂量の算定条件(最大運用を想定した場合)

	実績値	最大運用を想定した場合
バイパス土砂量	実際の運用に基づく計算値 (運用中断・休止期間含む)	<b>最大限運用を想定した計算値</b> :6年間に発生した全ての出水に対し、流入量が60m <sup>3</sup> /s以上の期間を運用し、かつ、実績の運用の中で、ダムからの放流を実施していた期間もバイパスを活用して放流した場合
砂利採取量・掘削量	実績値	実績値 + <b>分派堰内で毎年維持掘削(E.L.608m) : 最大約5万m<sup>3</sup></b>
ダム堆砂量	実績値	実績値 - <b>バイパス土砂量の増分</b> - <b>分派堰掘削量</b>

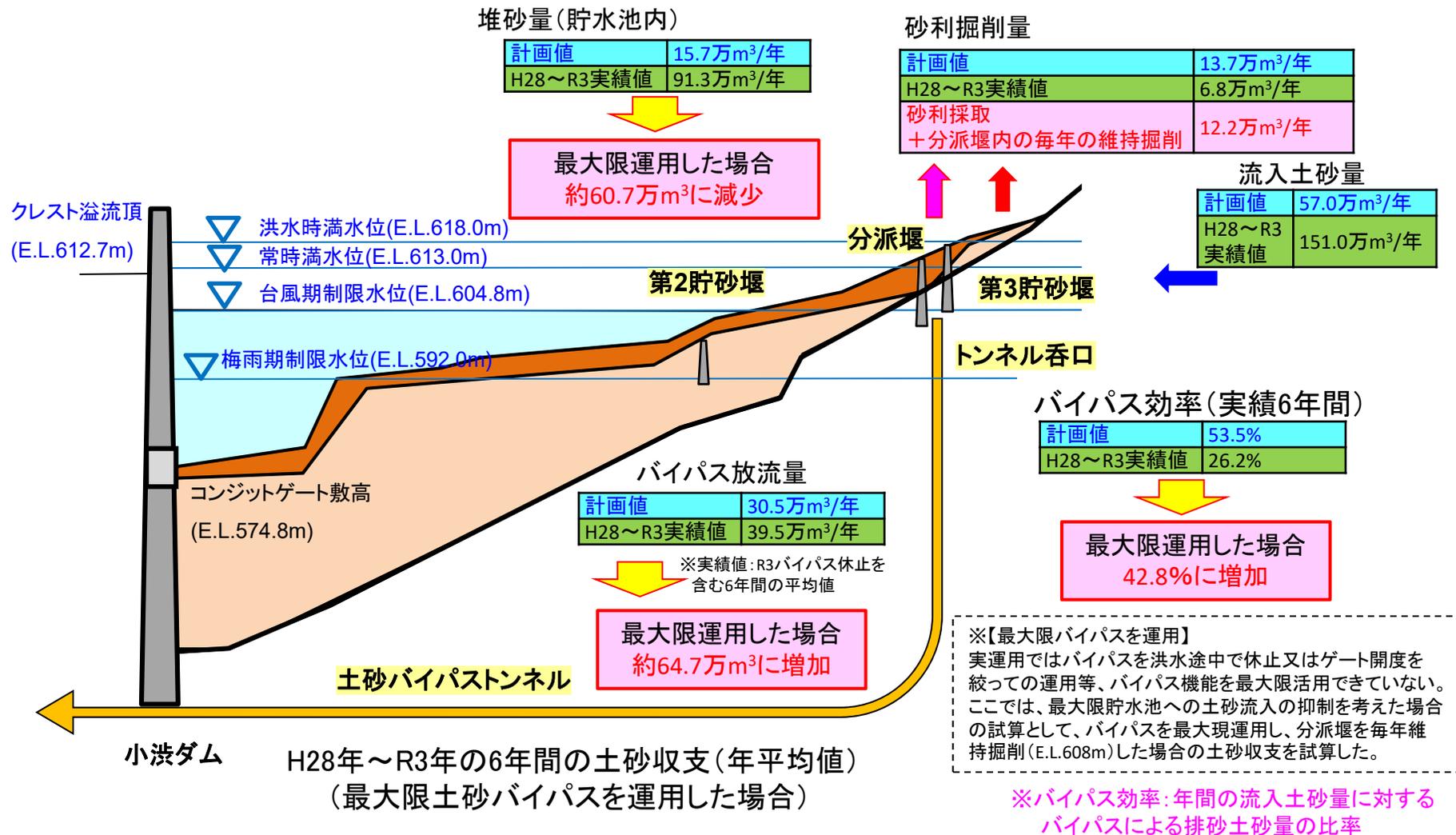


項目	条件
計算手法	一次元河床変動計算
対象期間	試験運用期間の実績流入量H28~R3

最大限運用した場合の年間土砂収支の算定方法(ゲート不具合により運用できなかったR元年の例)

### (4) 休止中を含めた6年間(H28~R3)に対する最大限運用した場合の試算

- 試験運用期間H28年~R3年の6年間の実績土砂収支は、年平均で約151.0万 $m^3$ であり、計画を大きく上回る土砂が流入した。
  - 適切な維持掘削とともに、バイパスを最大限運用した場合を想定し、バイパス運用休止期間を含むH28年~R3年の6年間の効果を試算した結果、バイパス土砂量の年平均は約39.5万 $m^3$ に(実績)に対し、対策後は約64.7万 $m^3$ となり、バイパスによる排砂される土砂量は大幅に増えることを確認した。
- ⇒貯水池の堆砂を抑制させるためには、適切な維持掘削とともに、土砂バイパスから最大限排砂させるための運用が必要となる。



### (5) 今後の土砂管理の対策方針

- ・ 以上より、近年、ダム貯水池の堆砂進行が著しく、また、流入土砂量の現状を踏まえると、バイパスを最大限活用したとしても、ダム貯水池の堆砂は引き続き進行すると想定される。
- ・ ダム貯水池の堆砂の進行を抑制するためには、バイパスだけでなく、貯水池の維持掘削、掘削土の下流河道への還元方法を含め、小渋ダム全体での恒久的な対策が求められる。
- ・ 今後は、小渋ダム全体での堆砂対策として、適切な維持掘削とともに、よりバイパスによる排砂効率を向上できるような運用方法や貯水池管理について検討し、引き続き、土砂バイパスの最大限運用について検討していく。

#### ■土砂バイパストンネルの最大限活用に対する対策

土砂管理対策		対策内容	備考
維持掘削	適切な維持掘削・河床管理	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 第3貯砂堰・分派堰・貯水池の維持掘削、管理河床高の設定</li> <li>・ 長期的に治水容量を維持可能な対策量を設定</li> </ul>	年平均(H28～R3) (砂利採取+維持掘削) 約6.8万m <sup>3</sup> /年
バイパス運用	土砂バイパス最大限活用	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 運用要領(案)の範囲内で運用</li> <li>・ 非出水期の運用等を含めた運用頻度の増加</li> <li>・ 分派堰の管理河床高の設定、適切な管理による排砂効率の向上</li> <li>・ 施設構造に配慮した運用基準(一時中断・停止基準)の見直し</li> </ul>	

#### ■小渋ダム全体での掘削土に対する対策

土砂管理対策		対策内容	備考
維持掘削	土砂還元	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 貯水池掘削土の還元対策 (バイパストンネル内や下流河道への置土等を今後検討)</li> </ul>	

#### ■土砂バイパスによる排砂量及び還元量増加に伴う下流河道の影響評価

土砂管理対策		対策内容	備考
河川環境の影響評価	下流河道モニタリング調査	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 下流河道への供給土砂量が増加するため、引き続きモニタリングを継続し、影響を評価する。</li> </ul>	

3. 第10回環境部会  
の報告

### 環境部会で議論する主な項目

- ①土砂バイパストンネル運用による土砂動態について
- ②土砂バイパストンネル運用による下流河川環境の影響について

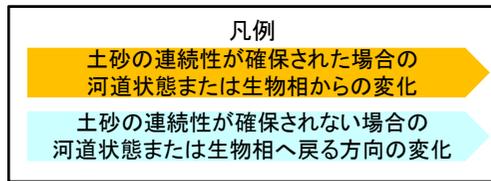
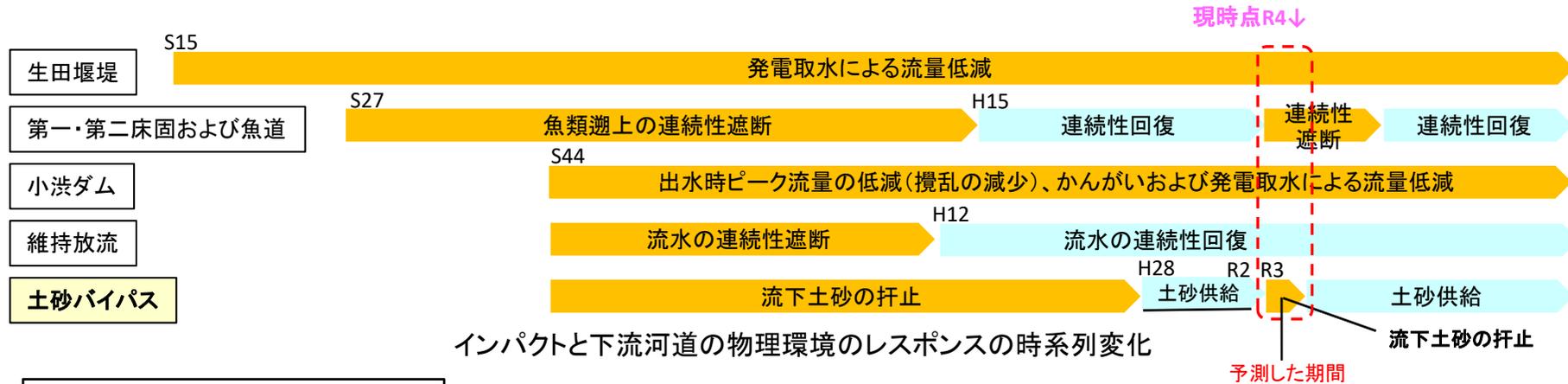
### ●主な議題

1. 土砂バイパス運用休止期間中のモニタリング調査の位置づけ
  - ①インパクト-レスポンスによる仮説
  - ②物理環境と生物環境の応答状況の予測
2. 環境モニタリング調査結果の報告及び変化の分析
  - ①物理環境
  - ②生物環境
3. 今後のモニタリング調査計画

## 3.2 土砂バイパス運用休止期間中のモニタリング調査の位置づけ

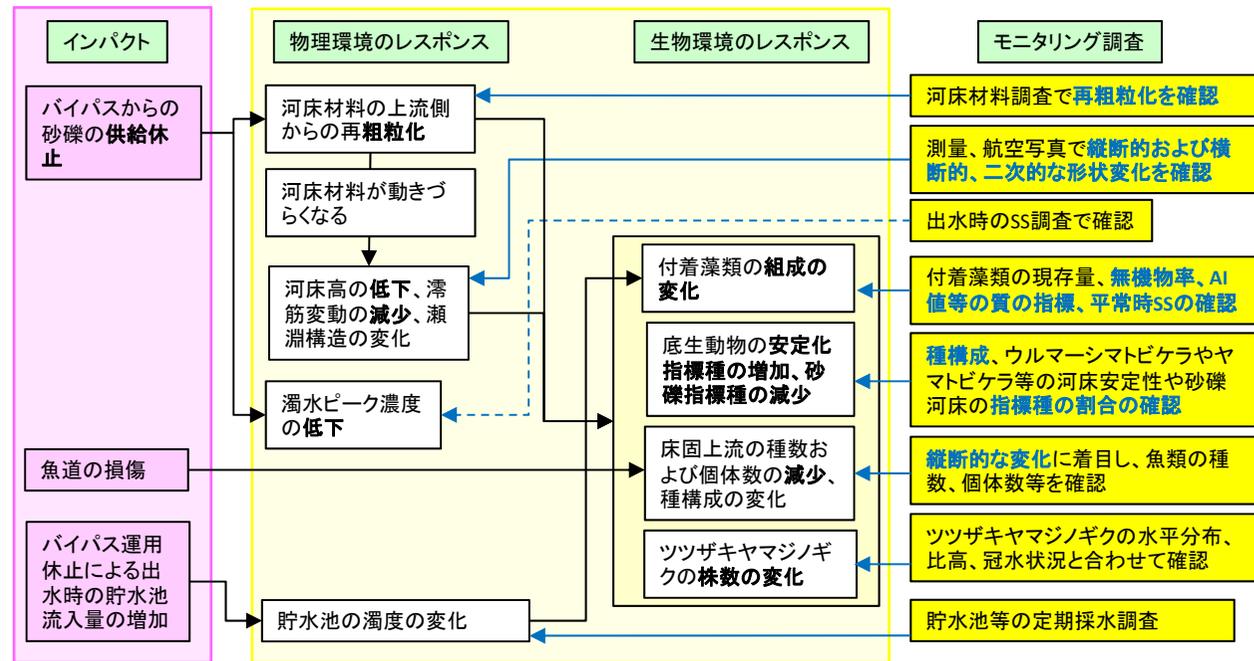
### (1) バイパス運用休止期間中のインパクト-レスポンスによる仮説

- これまでにダム下流河道が受けてきたインパクトを整理し、今回のバイパス運用休止時におけるインパクト-レスポンスの仮説を立てた。令和3~4年はその仮説を検証するためのモニタリング調査を実施する。



下流河道への主なインパクト一覧

年月	下流河道へのインパクト
S15.12	生田堰堤取水開始
S27.3、S28.9	第一・第二床固
S44.7	小渋ダム供用開始
H12.4	維持放流(0.72m³/s)開始
H15.3	第一・第二床固魚道整備
H28.9	土砂バイパス運用開始
R2.7	魚道損傷
R2.7~	土砂バイパス損傷および工事

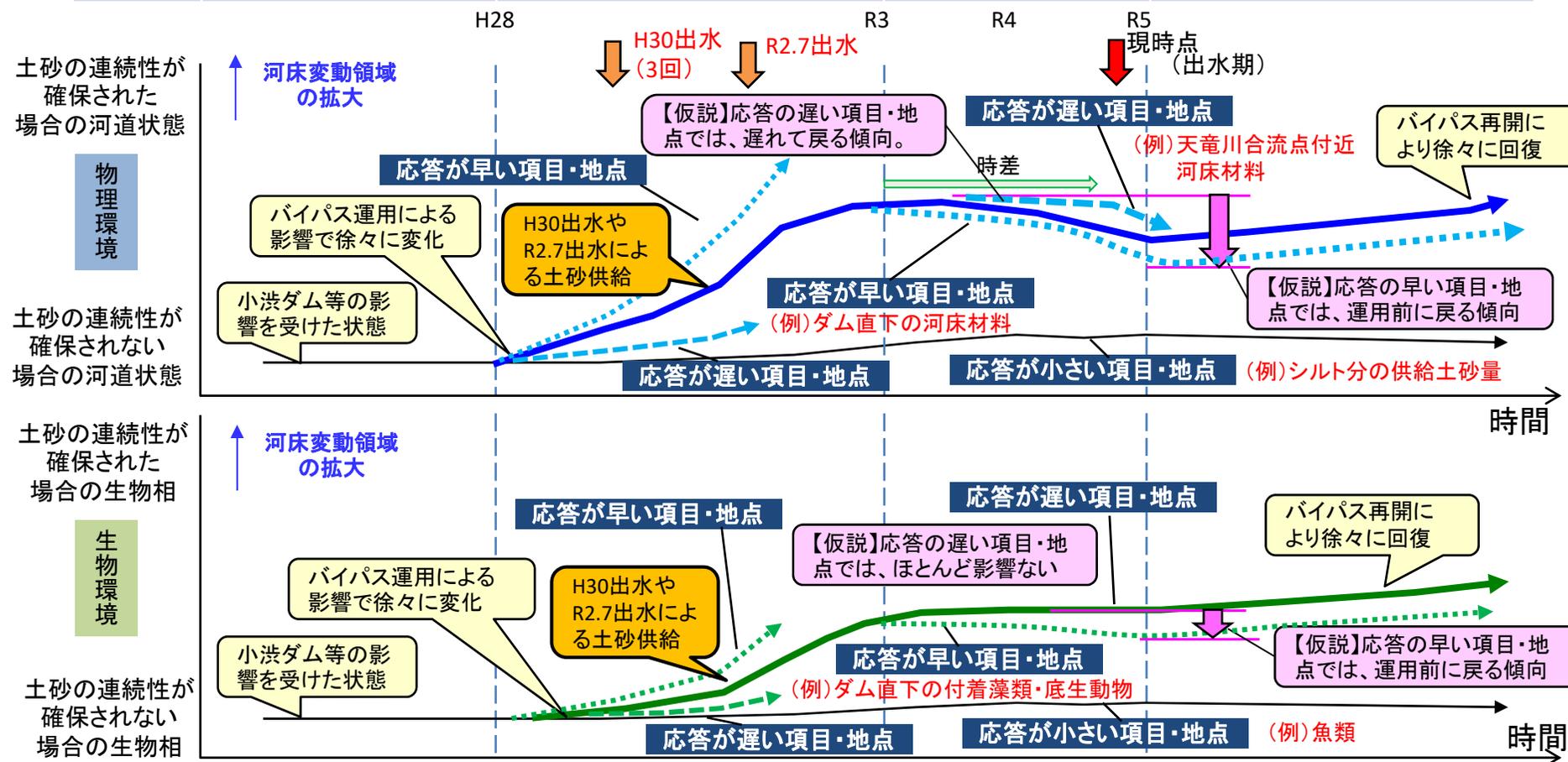


バイパス運用休止等により想定されるインパクト-レスポンスとモニタリングの関係

## (2) 物理環境と生物環境の応答状況の予測

- 平成28年からのバイパス運用により、河道や河床材料は土砂の連続性が確保された状態※に向かっている傾向が確認できている。
- 令和3年からのバイパス運用一時休止による影響は、応答が早い項目・地点の物理環境から順にバイパス運用前の状態に近づき、応答が遅い項目・地点は遅れて追従すると想定される。
- 生物環境は、物理環境に追従して応答するため、バイパス運用一時休止による影響は、物理環境の応答と比較して小さいと想定される。

段階	BP運用前	BP試験運用中	BP休止中	BP運用再開・本運用
調査目的	運用前の状況の把握	バイパス運用による影響把握	運用前に戻る影響把握	バイパス運用再開による影響把握

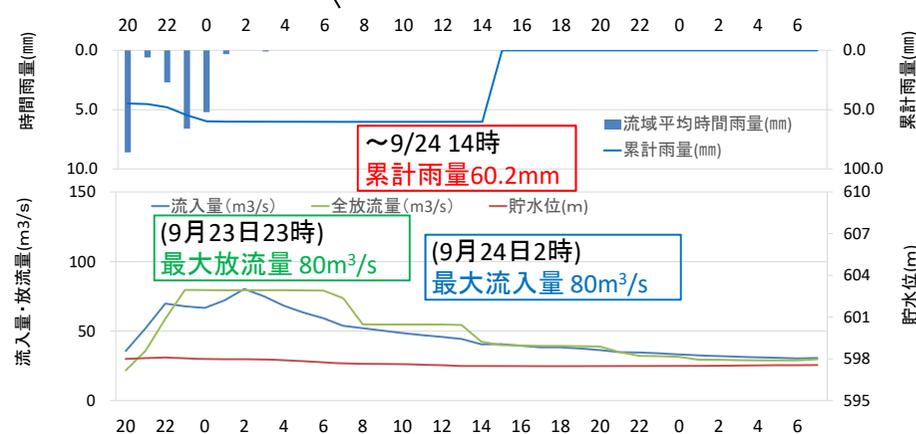
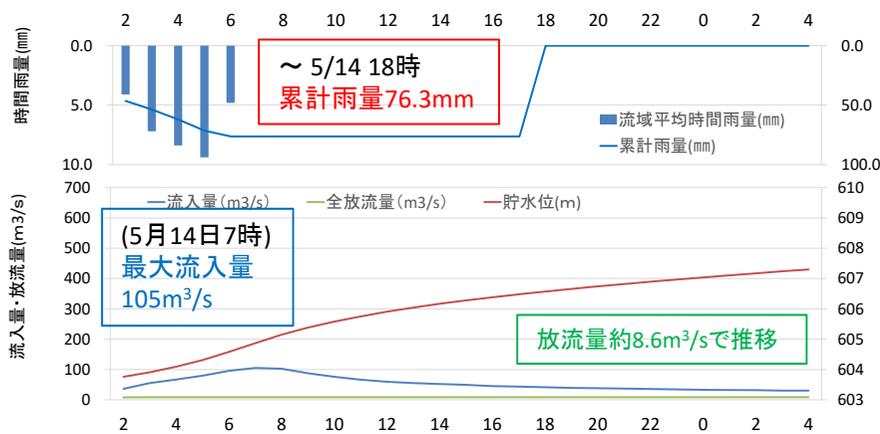
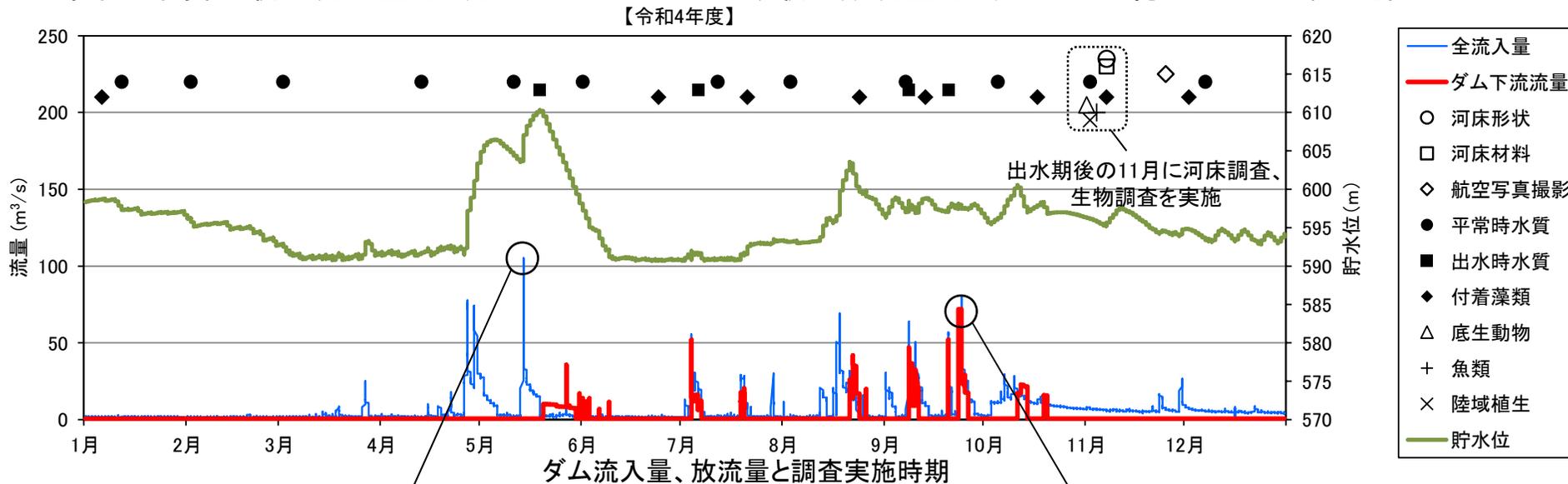


※土砂の連続性が確保された状態とは、小渋ダム建設前のように出水時の流量および供給土砂量が多く、河道や河床の攪乱が大きな状態と想定する。ただし出水時の放流量や平常時の水質についてはバイパスを運用しても建設前の状態にはならず、生物環境はその影響を受けると考える。

### 3.3 令和4年度環境モニタリング調査結果の報告及び変化の分析

#### (1) R4環境モニタリング調査の概要【令和4年度の流況】

- 令和3年度からの復旧工事により、令和4年度は土砂バイパストンネルは運用していない。
- 令和4年度の調査は11月に底生動物、魚類調査、植物調査を実施した。付着藻類調査は毎月実施した。
- 令和4年度の最大流入量は5月14日の105m<sup>3</sup>/sで、最大放流量は9月23日の約80m<sup>3</sup>/sであった。



#### (2) 土砂バイパス運用休止中の環境に関する評価(調査結果のまとめ)

- 土砂バイパスの運用休止により、特にダム下流河川の上流側から比較的細かい材料が流出している状況が確認された。運用休止によりバイパスの効果が逆説的に確認された。

#### これまでの環境モニタリング調査結果と評価一覧(物理環境)

項目	目的	運用前・中のモニタリング調査結果	休止中のモニタリング調査結果	バイパス休止の評価
河床形状	土砂の堆積、洗堀状況ならびに濡筋の変化を把握	運用前は横断および平面形状に変動はなかったが、平成30年出水と令和2年出水時のバイパス運用により、河岸侵食や濡筋の変化など、河床が攪乱されることで大きく変化した。平均河床高は運用中に増減を繰り返したが、大きな変化はない。バイパスを運用すると淵に土砂が堆積し、コンジットゲートからの放流が多いと堆積個所が洗堀される傾向が見られた。	天竜川合流点を除き、断面形状に大きな変化はなかった。令和2年が堆積傾向だったため、令和3年は全体的に平均河床高が低下した。また、2.5kの瀬淵では最深河床高が0.5～1.5m低下した。	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 濡筋はほとんど変動しなかったが、河床低下の傾向となった。</li> <li>• 瀬淵構造の明瞭化も見られ、バイパスを運用しない影響が確認された。</li> </ul>
河床材料	粒径の変化を把握	運用前は粗粒化していたが、バイパス運用以降、細粒化が徐々に進行する傾向が見られた。	休止中は、全体的に粗粒化する傾向が見られた。	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 河床材料の粗粒化が見られ、バイパスを運用しない影響が確認された。</li> </ul>
河川景観(航空写真)	濡筋の位置、植生の状況の面的な把握	運用前は濡筋が固定化され、徐々に植生遷移が進行していたが、平成30年9月出水と令和2年7月出水でのバイパス運用により濡筋が大きく移動し、樹林が流失し自然裸地が増加した。	濡筋や自然裸地に大きな変化はみられなかった。	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 濡筋の安定化が見られ、バイパスを運用していない影響が確認された。</li> </ul>
水質	土砂バイパス運用時の高濁水の発生状況の把握 平常時の濁水の把握	ダム下流の出水時SSは、運用前はダム上流より小さかったが、運用中はダム上流と同程度になった。近年比較的大規模な出水が多いため、平常時のSSが増加している。	ダム下流の出水時SSはバイパス運用中の値より小さかった。  平常時のSSはバイパス運用前と同程度だった。	<ul style="list-style-type: none"> <li>• バイパスを運用していない影響が確認された。</li> <li>• 出水の影響が大きく、水質への評価が困難であった。</li> </ul>

## (2) 土砂バイパス運用休止中の環境に関する評価(調査結果のまとめ)

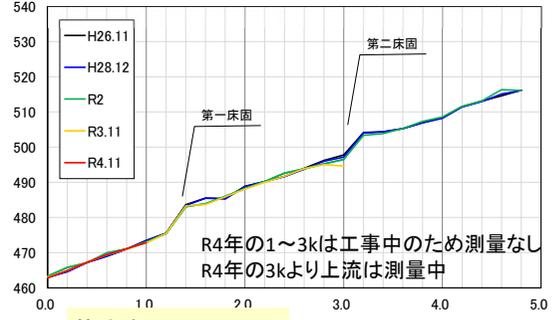
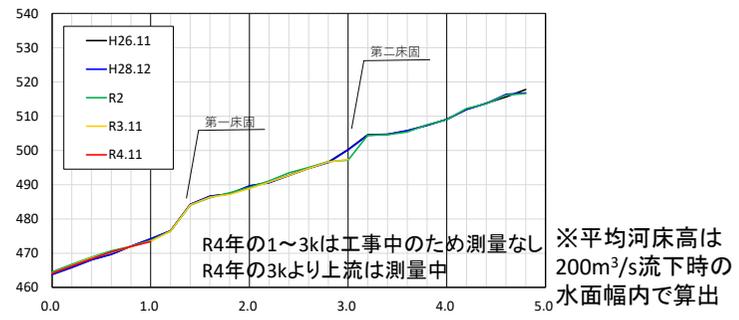
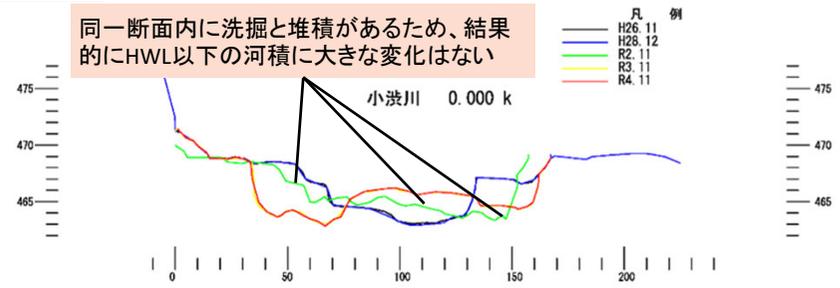
- 付着藻類についてはバイパス運用休止の影響は見られず、魚類、ツツザキヤマジノギクについては影響評価は困難であった。一方、底生動物は運用休止により運用前の状態に戻る傾向にあることが確認され、逆説的にバイパスの効果が確認された。

## これまでの環境モニタリング調査結果と評価一覧(生物環境)

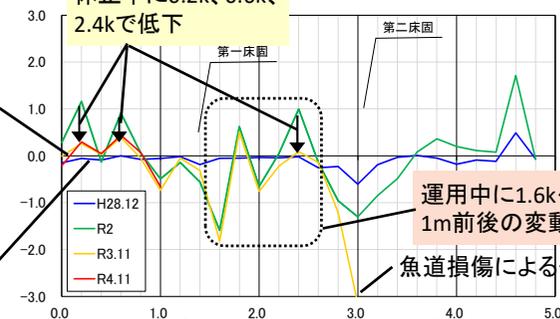
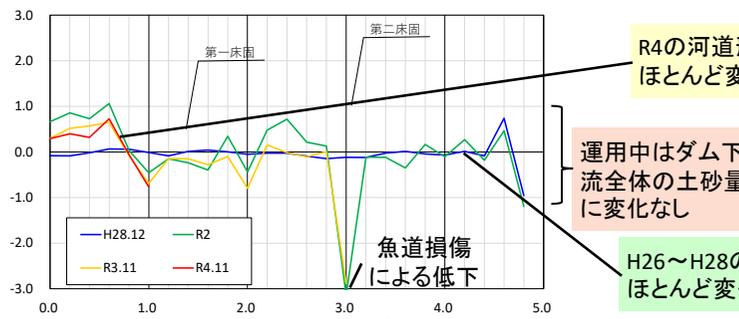
項目	目的	運用前・中のモニタリング調査結果	休止中のモニタリング調査結果	バイパス休止の評価
付着藻類	付着藻類の現存量、剥離更新状況の把握	運用前も運用中も出水により減少し、その後増加する傾向であった。バイパス土砂量によって付着藻類の量や質に対する改善効果が異なることも示唆された。	出水により減少、増加する状況に変化はなかった。	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 顕著な違いは確認されず、バイパス運用休止の影響は見られなかった。</li> </ul>
底生動物	環境変化を捉えやすい生物として種組成の変化の把握	バイパス運用前は造網型、匍匐型が優占したが、運用中は掘潜型の優占が顕著にみられた。運用前の造網型の優占種はコガタシマトビケラであったが、運用中はウルマーシマトビケラに変わった。運用前の携巣型の優占種はなかったが、運用中はヤマトビケラが優占した。	造網型が優占する地点が多く確認された。造網型内の優占種が運用前の状態に近づいた。携巣型内のヤマトビケラの優占種割合が減少し、運用前の状態に近づいた。	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ <u>生活型割合が運用前に近づいた</u>ことから、バイパス運用休止の影響があったことが確認された。</li> <li>・ <u>ヤマトビケラの減少</u>から、砂分の減少が示唆され、バイパス運用休止の影響が確認された。</li> <li>・ <u>バイパス運用前の群集構造に近づいた</u>ことからバイパス運用休止の影響が確認された。</li> </ul>
魚類	魚類相の把握および重要種の生息状況の把握	バイパス運用前は、維持放流開始、床固魚道整備の効果で個体数が徐々に増加した。運用中は礫河床を産卵場とするウグイの個体数増加に加え、4k地点でアカザ、カジカが確認され、浮き石河床の増加が示唆された。	小洪川および天竜川において遊泳魚、底生魚ともに大きく個体数が減少した。	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 天竜川でも減少していることから、個体数の減少は出水の影響によると考えられる。</li> <li>・ <u>床固の魚道が被災</u>したことで、魚類の遡上が困難な状況となっていることが影響している(バイパス運用による影響・評価は困難)。</li> </ul>
陸域植生	重要種(ツツザキヤマジノギク)の生育状況の把握	平成26年をピークに株数が減少するなかで、200m <sup>3</sup> /sを越える出水がH30年、R2年と続いたことにより、水際が大きく攪乱され、株数が大きく減少した。	R3年6月の調査で新たなロゼットが確認されたが、それ以降ロゼット株も開花株も確認されていない。	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 確認数の変化は、バイパス運用または休止よりも、植生遷移や比較的規模の大きな出水が頻発した影響と考えられる(バイパス運用による影響・評価は困難)。</li> </ul>

## (3) 物理環境の調査結果：①横断測量

- **運用前(H26-H28)** バイパスからの土砂供給がなく、平成26年～28年の河道形状はほとんど変動しなかった。
- **運用中(H28-R2)** バイパスからの土砂供給により、平均河床高および最深河床高に以下の変化が生じた。
  - ・平均河床高：経年的に増減を繰り返しており、一方的な堆積傾向または洗堀傾向は見られない。また地点により堆積、洗堀の変動はあるが、ダム下流全体で大きな変化はない。
  - ・最深河床高：土砂量が比較的多かった平成30年、令和2年の出水で大きく変動している。1.6k～2.4kでは令和2年に1m程度変動した。土砂の供給により、河道が動きやすくなったものと考えられる。
- **休止中(R3-R4)** バイパスからの土砂供給がない状態で、R3年に全体的に平均河床高が低下した。また0.2k、0.6k、2.4kでは最深河床高が0.5～1m程度低下した。



年	バイパス土砂量(千m³)
H28	4+1
H29	3+24+26
H30	39+190+163
R1	35
R2	1,882
R3	0
R4	0



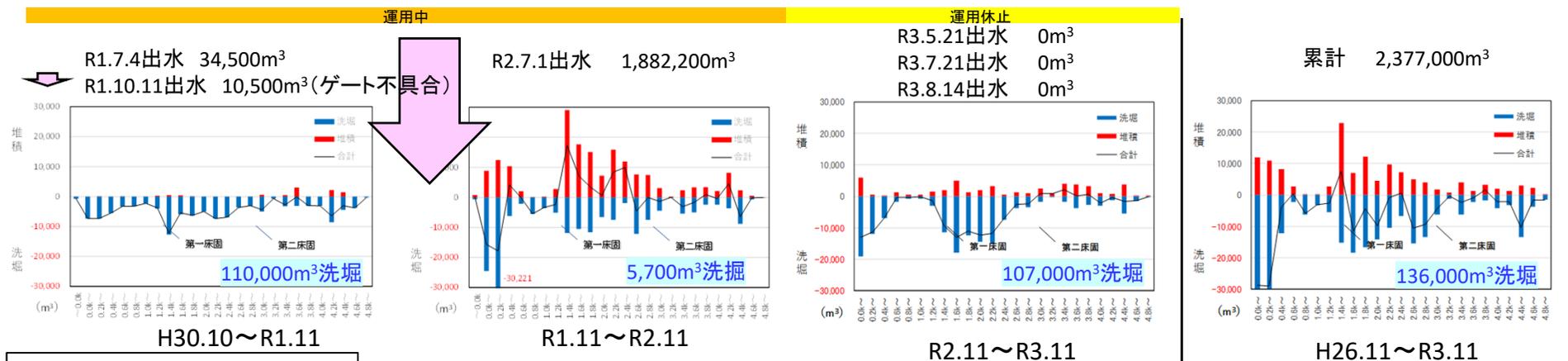
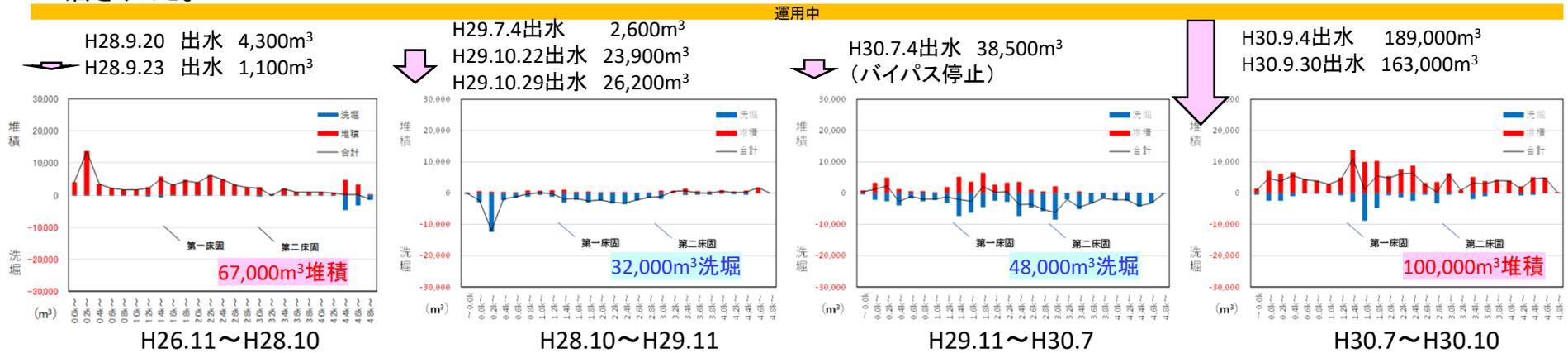
※変動量はH26.11の河道からの変動を示す

平均河床高縦断図(上)と変動量図(下)

最深河床高縦断図(上)と変動量図(下)

## (3) 物理環境の調査結果：②バイパス土砂量と区間別変動量(測量結果)

- **運用中(H28-R2)** 令和元年まではバイパスから土砂が多く流れたときは堆積し、主にコンジットゲートから水だけが放流されたときは洗堀される傾向が見られた。令和2年はバイパス土砂量、堆積量、洗堀量ともに大きかった。堆積と洗堀を繰り返し、河床は活発に動いている。
- **休止中(R3-R4)** 天竜川合流点付近と第一、第二床固間で洗堀された。
- 平成26年から令和2年でバイパスから237.7万m<sup>3</sup>が排砂され、下流河道では令和3年までに約13.6万m<sup>3</sup>が洗堀された。



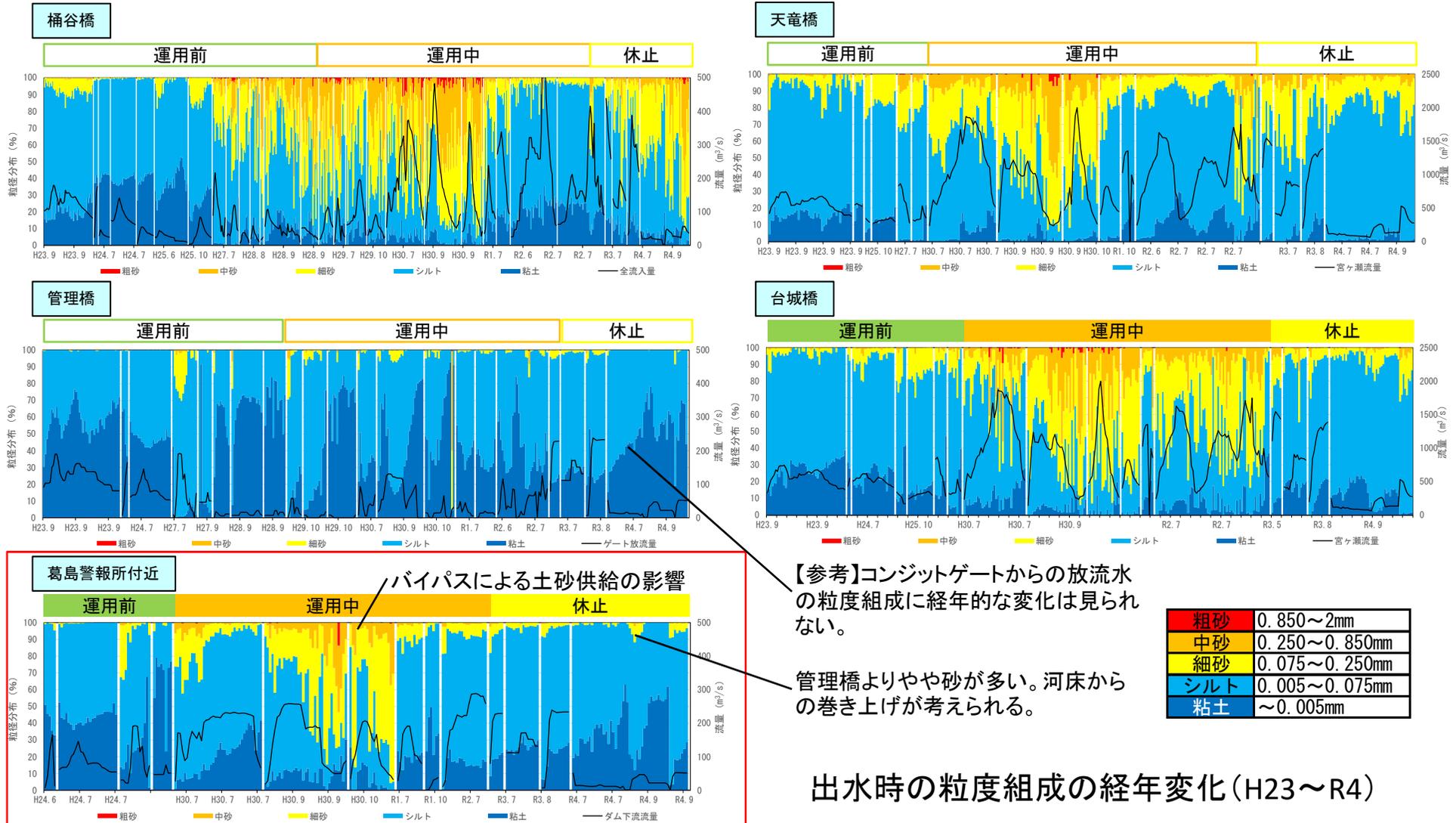
※数値はバイパス土砂量  
矢印の大きさはバイパス土砂量の目安

200m区間ごとの河床変動量の変遷



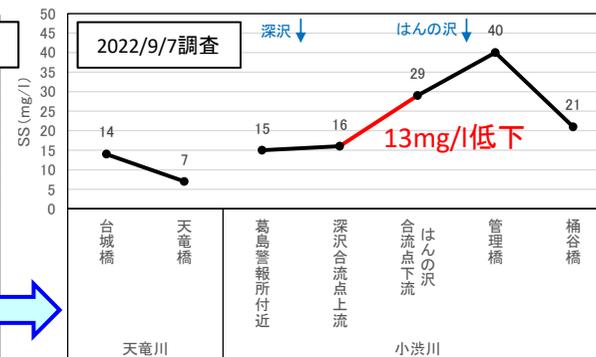
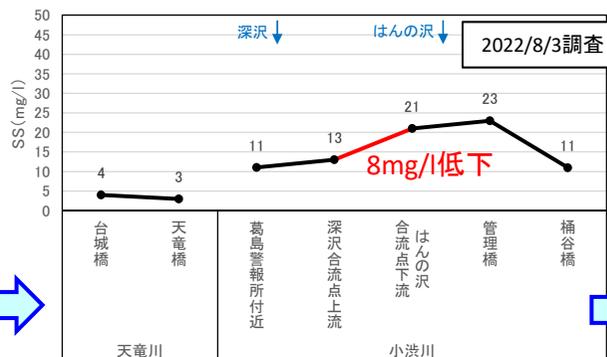
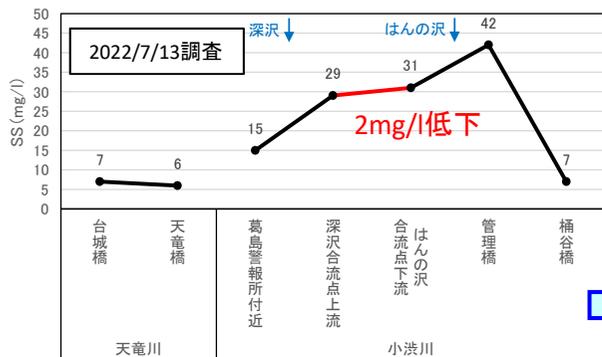
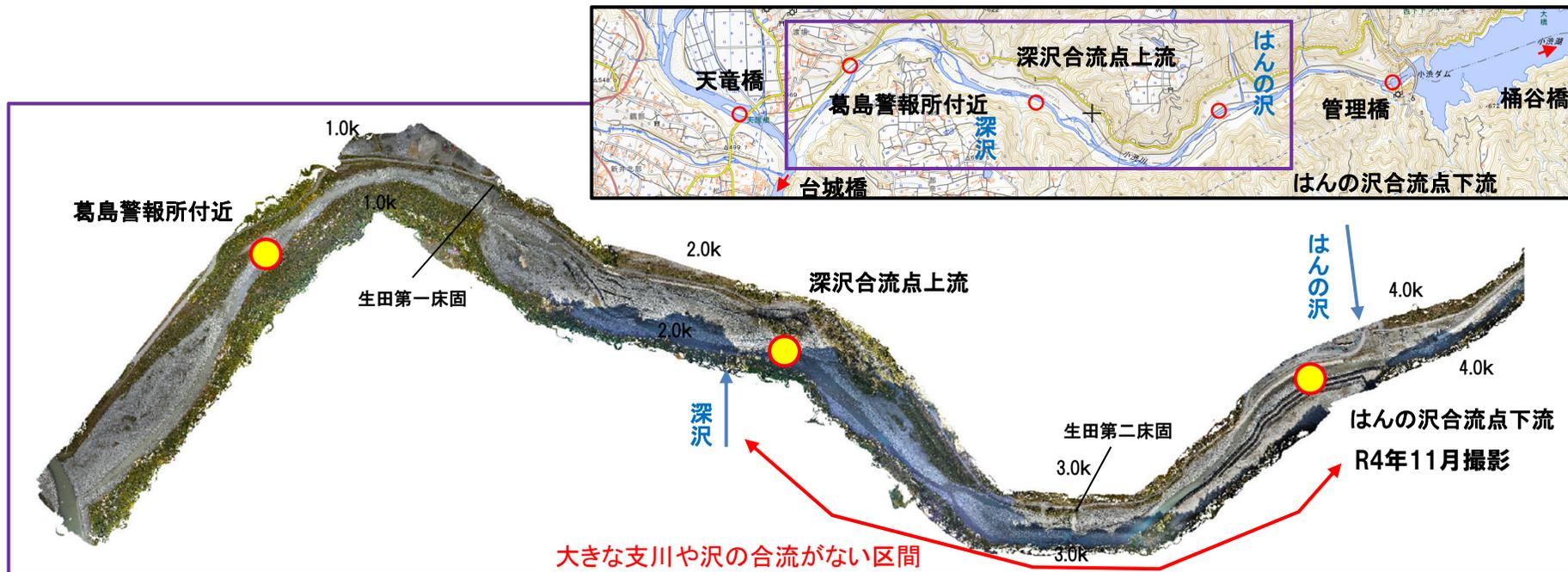
## (3) 物理環境の調査結果：④出水時のSS粒度組成

- **運用前(H26-H28)** 葛島警報所付近では粘土・シルトは95%程度、砂は5%程度で、天竜橋とは異なる傾向を示した。
- **運用中(H28-R2)** 変動が大きいのが、平成30年7月、9月の出水では洪水後期に砂の割合が70%程度を示した。桶谷橋、天竜橋に似た傾向を示した。土砂バイパスにより砂が供給されたことの影響と考えられる。
- **休止中(R3-R4)** 粘土・シルトが95%程度に増加、砂が5%に減少し、推移した。管理橋よりやや砂の割合が多かった。



## (3) 物理環境の調査結果：⑤ 平常時のSS(ダム下流)

- 7月から9月の定期調査において、大きな支川や沢の合流が無い、はんの沢合流点下流と深沢合流点上流間で2~13mg/lのSSの低下があった。9月の低下量がピークでその後減少した。
- バイパスから供給された粒径の大きい土砂が堆積し、空隙が大きい砂州が形成されたことで、その砂礫の隙間を水が通ることにより、SSが捕捉されやすくなったためと考えられる。



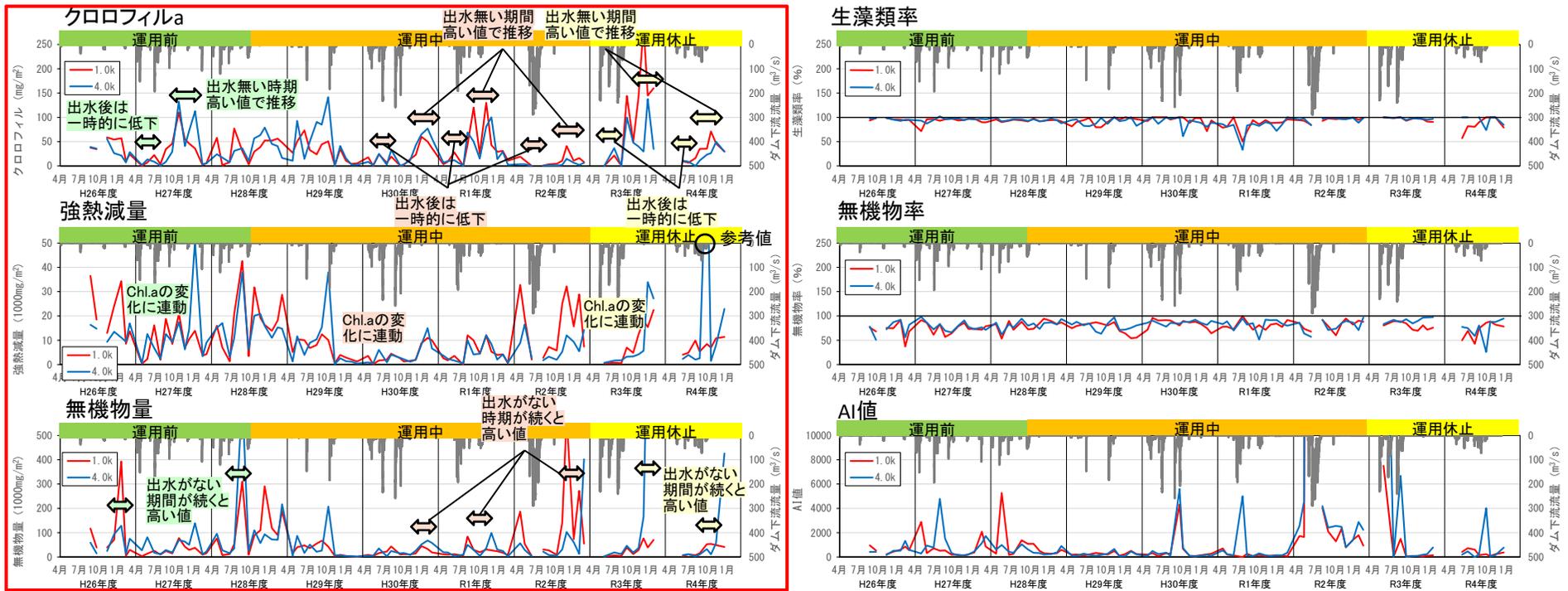
平常時SSの縦断変化

## (4) 生物環境の調査結果：①付着藻類調査（現存量と質）

【現存量(クロロフィルa、強熱減量、無機物量)】

- **運用前(H26-H28)** バイパスからの土砂供給がない状態では、以下の傾向がみられた。
  - ・クロロフィルa: 大きな出水が生じると一時的に低くなり、大きな出水が無い期間に高くなる傾向を示していた。
  - ・強熱減量 : 明瞭な傾向では無いが、クロロフィルaの変化と概ね連動していた。
  - ・無機物量 : 出水の無い期間が継続すると、高い値を示す傾向が確認されていた。
- **運用中(H28-R2)** バイパスからの土砂供給がある状態でも、**運用前と同様の傾向を示した**。バイパス土砂量が、現存量へ寄与している可能性が示唆\*されており、令和5年度以降の試験運用再開時に関連性を検証予定である。
- **休止中(R3-R4)** **運用前および運用中と同様の傾向を示した**。

※R4.10に確認された強熱減量の高い値は、現地確認時に有機物が特に多い状況ではなかったことを考慮し、参考値として取り扱う。  
 \* 第8回環境部会では、バイパス土砂量が現存量の増加に寄与し、その程度が土砂量によって異なるという仮説を立てている(参考資料参照)。



付着藻類の質の指標の算出方法

現存量に関するグラフ

- ※1 生藻類率 =  $\frac{\text{クロロフィルa量}}{\text{クロロフィルa量} + \text{フェオフィチン量}} \times 100$  ← 高い値ほど新鮮な付着藻類が多く、好ましい
- ※2 無機物率 =  $\frac{\text{無機物量}}{\text{無機物量} + \text{強熱減量}} \times 100$  ← 低い値ほど無機物分が少なく、好ましい
- ※3 AI値 =  $\frac{\text{強熱減量}}{\text{クロロフィルa}}$  ← 低い値ほど有機物中に占める付着藻類割合が多く、好ましい

### 3.3 令和4年度環境モニタリング調査結果の報告及び変化の分析

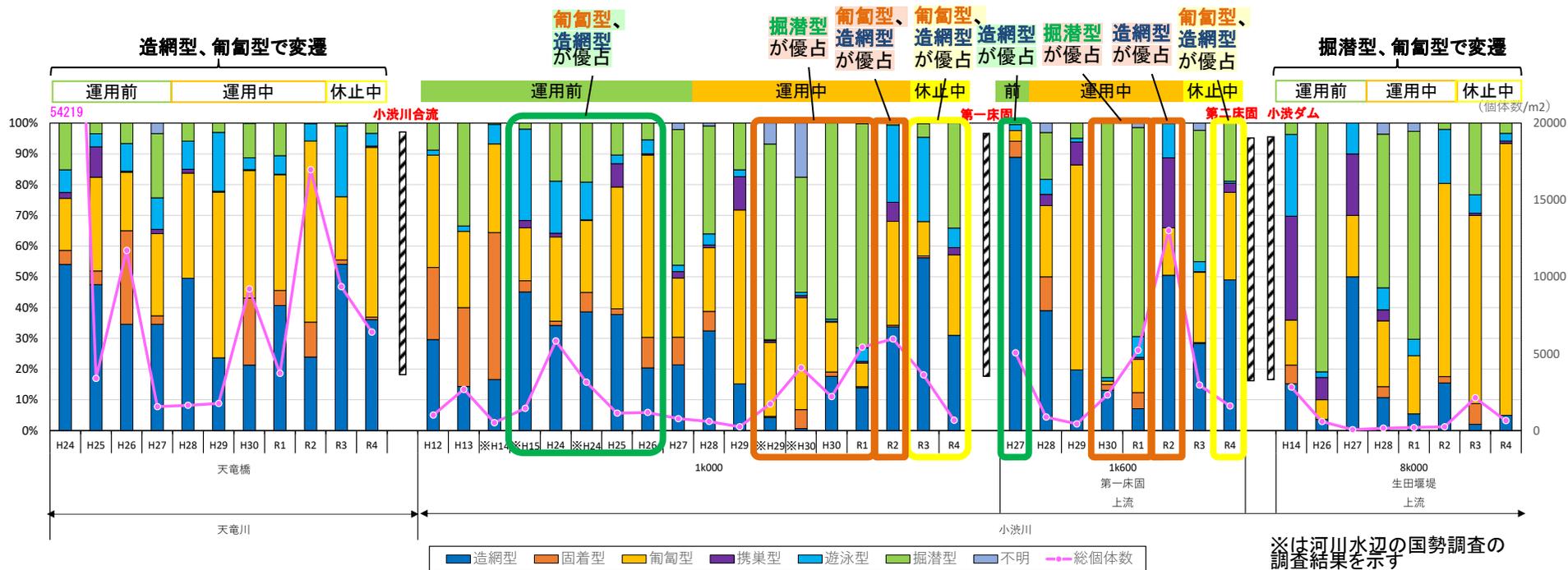
#### (4) 生物環境の調査結果：②底生動物調査（総個体数と生活型別構成割合）

- **運用前(H12-H28)** ダム下流地点のうち、調査回の多い1.0kでは**造網型**、**匍匐型**、**第一床固**上流では**造網型**が優占する傾向がみられた。
- **運用中(H28-R2)** バイパスから土砂が供給されると、地点によって応答に差があるものの**掘潜型**が優占した。**細粒分の増加に伴う変化**と考えられた。一方で、令和2年度は異なる傾向を示し、**造網型**や**匍匐型**が増加した。大きな出水があった後、8月以降に流況が安定したことが、増加要因のひとつとして考えられる。
- **休止中(R3~R4)** 上流からの土砂供給がなかった令和3年~令和4年は、**造網型**、**匍匐型**が優占する地点が増加した。調査年や地点によって応答の差にばらつきがあるものの、**運用前の状態に近づいている可能性**が示唆された。

土砂供給により想定される変化

生活型	変化
固着型、造網型、	減少↘
匍匐型、携巢型、掘潜型	増加↗

参考) 西田ほか(2011), 溝口ほか(2018), 土木研究所(2013)



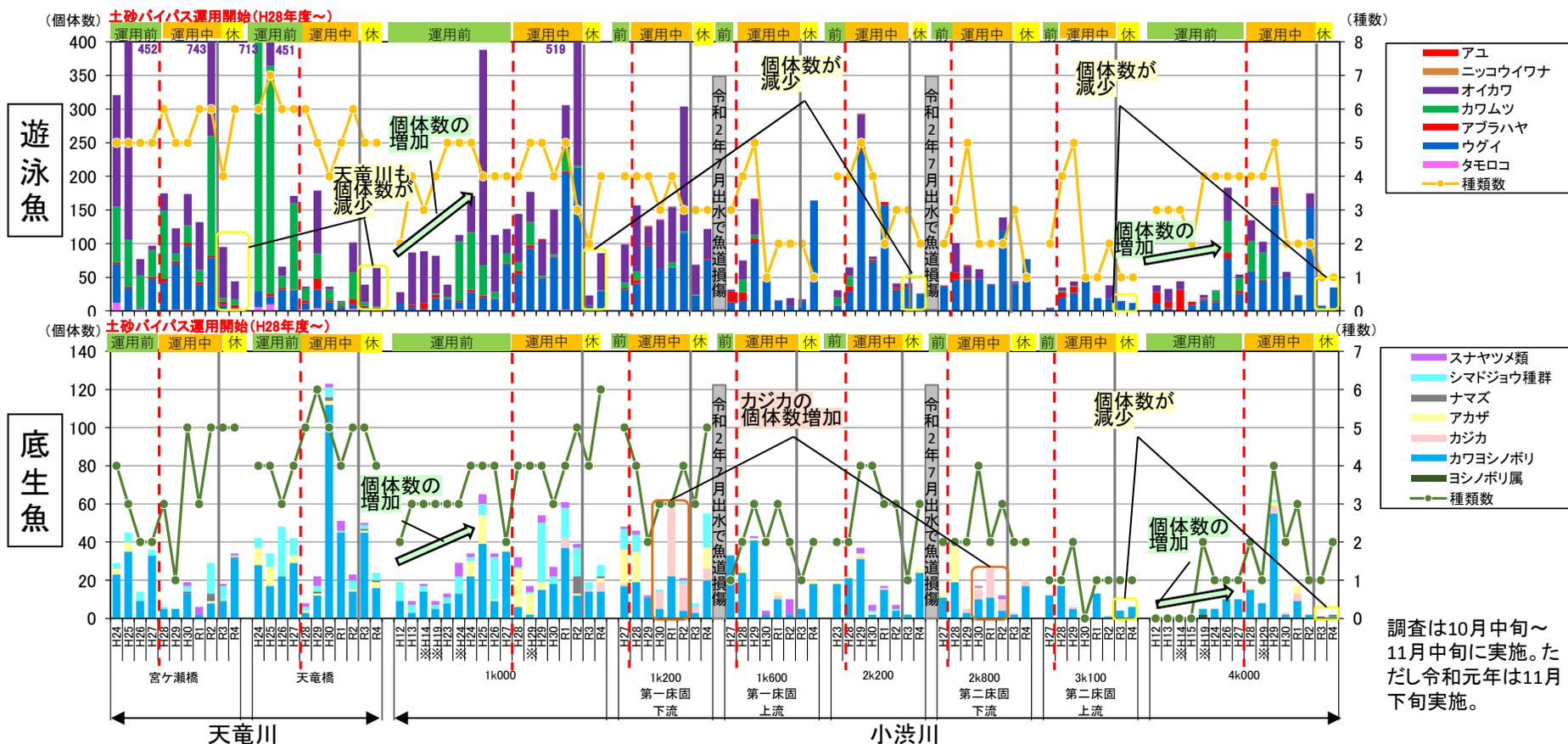
※は河川水辺の国勢調査の結果を示す

総個体数と生活型別構成割合

### 3.3 令和4年度環境モニタリング調査結果の報告及び変化の分析

#### (4) 生物環境の調査結果：③魚類調査

- **運用前(H12-H28)** バイパスからの土砂供給がない状態では、1.0k、4.0kにおいて、天竜川との出入りができる1.0kで個体数が多く、上流の4.0kでは個体数が少ない傾向がみられた。いずれの地点もH12からH28にかけて個体数が徐々に増加しており、H12の維持放流開始、H15の床固魚道整備の効果が顕在化したものと考えられる。
- **運用中(H28-R2)** バイパスの試験運用開始後は、1.0kでは礫河床を産卵場とする遊泳魚のウグイの個体数が増加傾向であった。4.0k地点において礫間を好む底生魚のカジカ、アカザが確認されるようになったことから、バイパスからの土砂供給によって浮き石河床が増加した可能性が考えられる。
- **休止中(R3~R4)** バイパスの運用休止中は個体数が大きく減少した。天竜川との出入りができる1.0kは出水や流況による変化、1.2kより上流は床固の魚道の損傷\*が大きく影響していると考えられる。



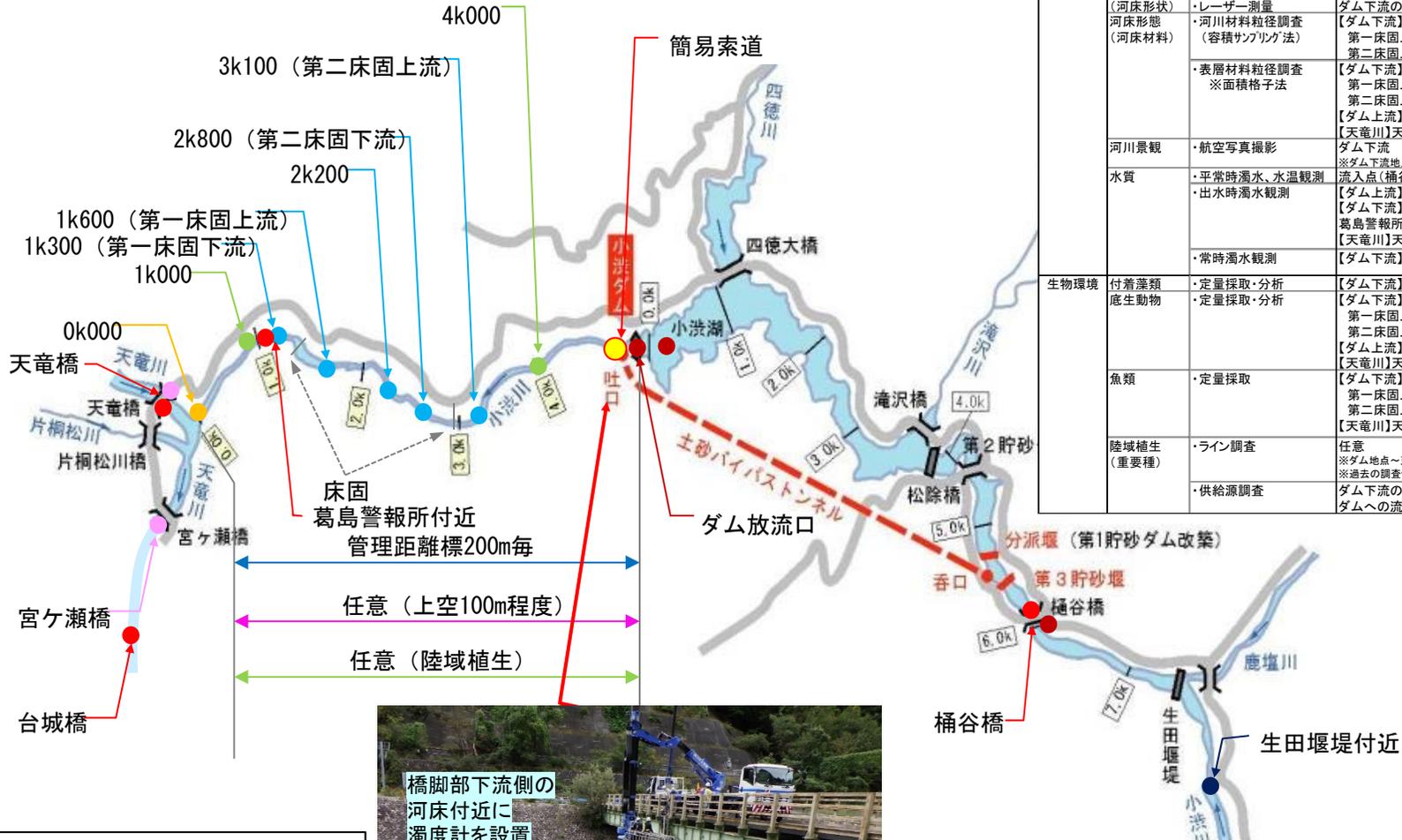
\*令和2年7月出水で第1・第2床固の魚道が損傷しており、遡上ができなくなっている。

4. 今後のモニタリング調査計画

# 4. 今後のモニタリング調査計画

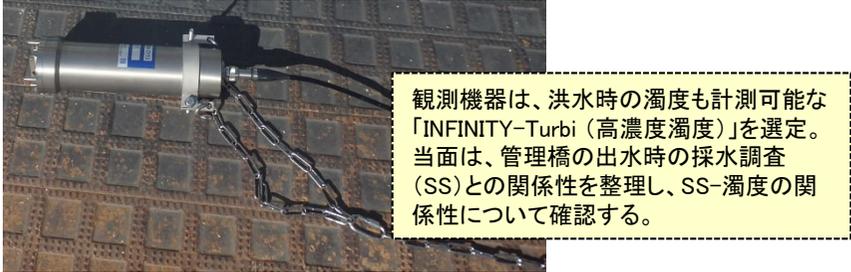
## (1) 復旧工事後の土砂収支・環境に関するモニタリング計画(案)

令和5年度のモニタリング調査地点



区分	調査項目	調査地点	図中の記号	
物理環境	河床形態 (河床形状)	・横断測量 ・レーザー測量	距離標200m毎 ダム下流の小洪川全域	←→
	河床形態 (河床材料)	・河川材料粒径調査 (容積サンプリング法)	【ダム下流】0k0, 1k0, 2k2, 4k0, 第一床固上流・下流 (1.2k, 1.6k) 第二床固上流・下流 (2.8k, 3.1k)	●●●
	・表面材料粒径調査 ※面積格子法	【ダム下流】0k0, 1k0, 2k2, 4k0, 第一床固上流・下流 (1.2k, 1.6k) 第二床固上流・下流 (2.8k, 3.1k) 【ダム上流】生田堰堤	●●●●●	
河川景観	・航空写真撮影	ダム下流 ※ダム下流地点～天竜川合流点	←→	
水質	・平常時濁水、水温観測	流入点(桶谷橋)、貯水池、放流口	●	
	・出水時濁水観測	【ダム上流】桶谷橋、湖面 【ダム下流】管理橋、簡易索道または葛島警報所	●	
	・常時濁水観測	【天竜川】天竜橋、台城橋 【ダム下流】管理橋	●	
生物環境	付着藻類	・定量採取・分析	【ダム下流】1k0, 4k0	●
	底生動物	・定量採取・分析	【ダム下流】1k0, 2k2, 4k0, 第一床固上流・下流 (1.2k, 1.6k) 第二床固上流・下流 (2.8k, 3.1k) 【ダム上流】生田堰堤 【天竜川】天竜橋、宮ヶ瀬橋	●●●●●
魚類	・定量採取	【ダム下流】1k0, 2k2, 4k0, 第一床固上流・下流 (1.2k, 1.6k) 第二床固上流・下流 (2.8k, 3.1k) 【天竜川】天竜橋、宮ヶ瀬橋	●●●	
	陸域植生 (重要種)	・ライン調査 ・供給源調査	任意 ※ダム地点～天竜川合流点 ※過去の調査ラインに整合 ダム下流の各支川 ダムへの流入河川(四徳川)	←→

ダム放流口(管理橋)に高濃度測定用の濁度計を新たに設置。  
⇒コンジットゲートからの放流土砂の濁度を常時観測する予定。



観測機器は、洪水時の濁度も計測可能な「INFINITY-Turbi (高濃度濁度)」を選定。当面は、管理橋の出水時の採水調査(SS)との関係性を整理し、SS-濁度の関係性について確認する。

## 4. 今後のモニタリング調査計画

47

### (1) 復旧工事後の土砂収支・環境に関するモニタリング計画(案)

- 令和5年度からバイパス運用を再開する予定である。
- 令和6年度以降は、定期調査・定期測量、河川水辺の国勢調査を活用し、フォローアップ委員会と連携し把握していく予定である。

分類	調査項目	R2	R3	R4	R5	R6以降 ※	R5年以降の調査方針(案)	
工事および運用		試験運用						
バイパス委員会等		●	●	●	●	●		
FU委員会		BP工事						
物理環境	河床形状	◇	◇	◇	◇	◇	貯水池測量と合わせて、下流河川の定期横断測量(またはLP測量等)を管理として毎年実施	
	河床材料	容積サンプリング法	○	△	△	△	△	分派堰、減勢工はR3より実施しない
		面積格子法	○	○	○	○	○	
	河川景観	○	○	○	○	○	航空測量が実施されるならば航空写真で代用	
	水質	○ ◇	△◇	△◇	△◇ ○	△◇ ○	出水時のSS調査はR3以降調査地点を減少。 貯水池管理のための定期調査は継続。 管理橋に濁度計を設置した	
生物環境	付着藻類	○	○	○	○	○		
	底生動物	○	○	○□	○	○	水国に移行するため、R3以降は調査方法のすり合わせを実施。	
	魚類	○	○	○□	○	○	水国に移行するため、R3以降は調査方法のすり合わせを実施。 環境DNA調査の導入に留意	
	陸域植生	○	(○) □	○	○	○	重要種であるため継続的に監視	

現時点

○:モニタリング計画に位置付けられた調査、△:そのうち調査量を減少する調査  
□:河川水辺の国勢調査(水国)、◇:管理のための定期調査・定期測量

※R5年度のモニタリング状況に応じて適宜対応

## 4. 今後のモニタリング調査計画

### (2) 復旧工事後の構造に関するモニタリング計画(案)

- ・ 復旧工事後の土砂バイパストンネル施設のモニタリングは、施設構造を変更した箇所を追加し、モニタリングを実施する。
- ・ また、大粒径土砂の移動状況を把握するためにモニタリングを実施する。

箇所		確認内容	観測方法	確認頻度
呑口部	流木ハネ	流木排除の必要性	目視確認	運用後 分派堰土砂を排除した時点
		損傷の有無		
	主ゲート	操作性、損傷状況	目視確認	運用後 ゲートが全開可能な時点
	副ゲート	操作性、損傷状況	目視確認	
	放流設備 (ラバースチール 鋼製ライニング)	土砂堆積状況	目視確認	運用後
		損傷状況	目視確認	運用後
		材料厚	計測機器による確認	運用後(定期的な抽出調査)
ゲート戸溝及び 底部戸当り	材料厚	計測機器による確認	運用後(定期的な抽出調査) ゲートが全開可能な時点	
トンネル内	局所的損傷	局所的な損傷	・目視確認 ・摩耗・損傷現象の代表性の観点から、トンネル全体の 損傷傾向が推定可能な箇所、局所的に損傷が拡大すると 推定される箇所、特徴的な損傷が発生すると推定される 箇所をモニタリング位置とする。	運用後
		目地周辺状況		
	トンネル全体の損傷	側壁の状況	目視、計測機器による確認	運用中、後
		インバート不陸の進行状況		
	トンネル全体	土砂の堆積状況	目視	運用後
流下状況		CCTVカメラ、トンネル内水位計データを確認	運用中、後	
吐口部	水平水路部	エッジ部の損傷	・吐口部の損傷状況の目視確認 (吐口水平水路部(放水路部)、減勢工内)を実施	運用後
	導流壁	導流壁の損傷		
	底張コンクリート	底張工の損傷	・変化形状の測量を実施	運用後、水回し、土砂を撤去後
	保護コンクリート	保護コンクリート上面 保護工との境界部	保護コンクリート上面および保護工との境界部で損傷等 の発生状況をモニタリング	運用中、後
	右岸護岸		放流水のせり上がりや溢水の発生状況をモニタリング	
呑口上流			・大粒径移動実態調査(河床材料調査)	出水前後

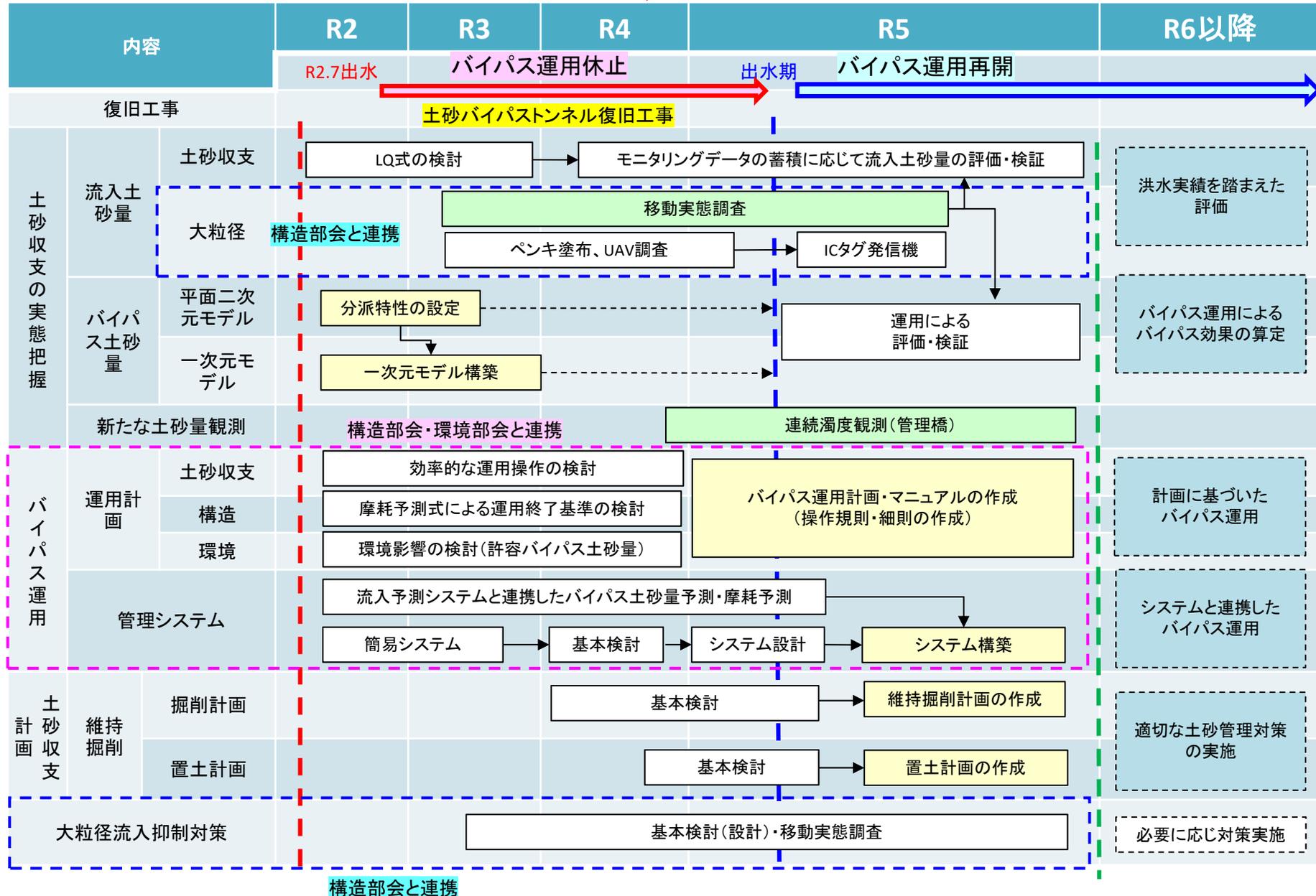
赤字: 施設構造を変更した箇所、新たな調査

5. 今後の検討スケジュール

# 5. 今後の検討スケジュール

## (1) 土砂収支部会

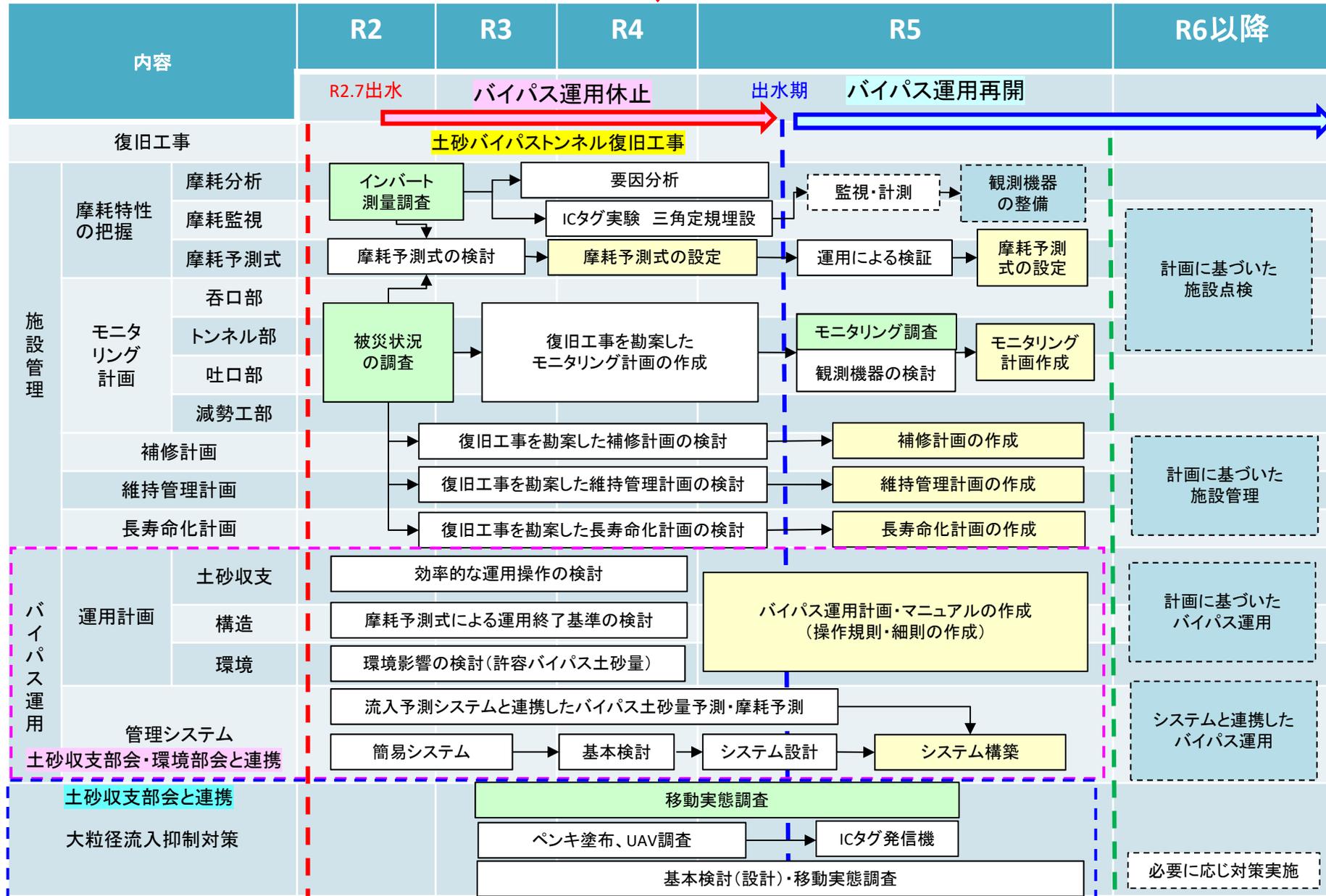
▽現在



# 5. 今後の検討スケジュール

## (2) 構造部会

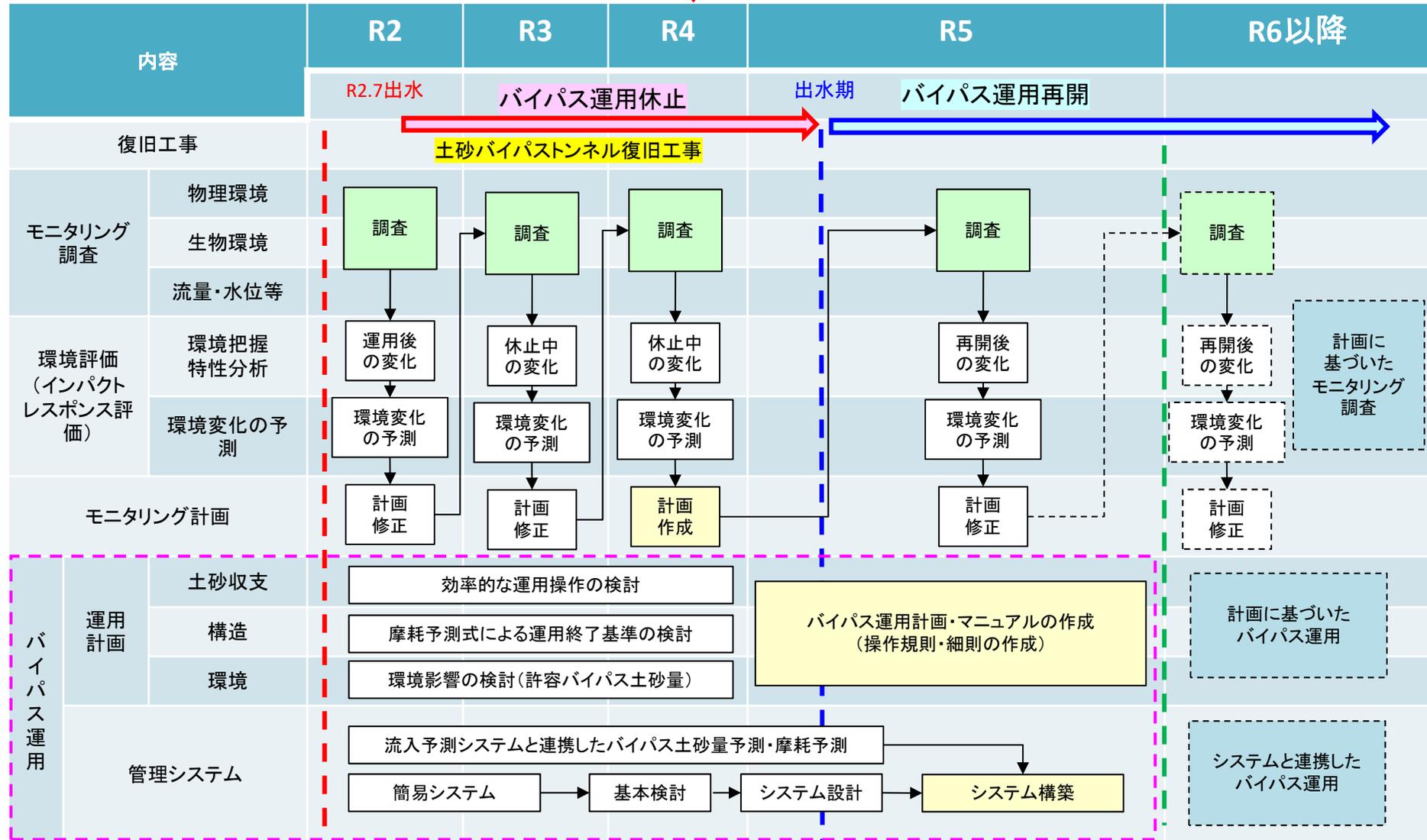
▽ 現在



# 5. 今後の検討スケジュール

## (3) 環境部会

現在



土砂収支部会・構造部会と連携

※本運用後は、定期調査・定期測量、河川水辺の国勢調査を活用し、フォローアップ委員会と連携し把握していく